



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Análisis del sistema eléctrico de distribución para la
ampliación de la mina Marcapunta norte exterior
10.5 kV y mina subterránea 4.16 kV – Sociedad
Minera El Brocal S.A.A. año 2016**

para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Edwin Jhon Esteban Ricapa

Huancayo, 2019



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

ASESOR

Mg. Ing. Pedro Gurmendi Párraga

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de vivir, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente.

A mí padre y madre por haberme dado la vida, por haberme apoyado en todo momento, por brindarme su amor y permitirme ser una persona de bien.

A mis hermanos, por sus consejos, sus valores, por la motivación, pero más que nada, por su amor.

ÍNDICE

ASESOR.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Fundamentación del problema	13
1.2. Formulación del problema	14
1.2.1. Problema general	14
1.2.2. Problemas específicos	14
1.3. Objetivos de la investigación	14
1.3.1. Objetivo general.....	14
1.3.2. Objetivos específicos	15
1.4. Justificación e importancia.....	15
1.4.1. Justificación práctica.....	15
1.4.2. Justificación teórica	16
1.4.3. Justificación metodológica	16
1.5. Importancia	17
1.6. Hipótesis.....	17
1.6.1. Hipótesis general.....	17
1.6.2. Hipótesis específicas	18
1.6.3. Descripción de variables	18

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio.....	19
2.2. Bases teóricas	21
2.2.1. Análisis de flujo de potencia.....	21
2.2.2. Modelo de los elementos de un sistema eléctrico de potencia	21
2.2.3. Formulación de las ecuaciones por el método de Newton - Raphson	22
2.2.4. Análisis de un circuito mediante formulación	24
2.2.5. Cálculos de parámetros de cortocircuito.....	28
2.2.6. Cálculos de los parámetros de las líneas de transmisión	31

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación	36
3.1.1. Método	36
3.1.2. Nivel de investigación	36
3.1.3. Diseño de la investigación	37
3.1.4. Diseño del experimento	37

3.2.	Población y muestra de la investigación	37
3.2.1.	Población	37
3.2.2.	Muestra	37
3.2.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	38
3.2.4.	Técnicas	38
3.2.5.	Instrumentos.....	38

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Análisis del sistema eléctrico	39
4.1.1.	Especificaciones técnicas.....	40
4.1.2.	Descripción del sistema eléctrico	40
4.1.3.	Situación Actual.....	47
4.1.4.	Análisis De Corto Circuito	56
4.2.	Reforzamiento de sistema eléctrico mina	61
4.2.1.	Consideraciones	61
4.2.2.	Escenario.....	61
4.2.3.	Análisis de Flujo de Potencia.....	63
4.2.4.	Análisis de resultado de corto circuito.....	70
4.3.	Sistema eléctrico mina en anillo	73
4.3.1.	Consideraciones	73
4.3.2.	Escenario.....	73
4.3.3.	Análisis de flujo de potencia.....	74
4.3.4.	Análisis de resultado de corto circuito.....	82
4.4.	Comparación de resultados en máxima demanda	85
4.4.1.	Comparación de Perfiles de Tensión	85
4.4.2.	Comparación de cargabilidad de las líneas.....	87
4.4.3.	Comparación de cargabilidad de transformadores.....	89
4.4.4.	Comparación de corrientes de corto circuito	90
4.5.	Análisis de contingencias.....	92
4.5.1.	Metodología y criterios	92
4.5.2.	Análisis de resultados	94
4.6.	Propuesta de mejoramiento del sistema eléctrico el brocal	104
4.6.1.	Alcances.....	105
4.6.2.	Reforzamiento e implementación	105
4.6.3.	Presupuesto referencial	106
4.7.	Discusión de resultados.....	111
	CONCLUSIONES.....	114
	RECOMENDACIONES.....	115
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
	ANEXOS	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Descripción de variables	18
Tabla 02. Configuración según Niveles de Tensión	43
Tabla 03. Lista de Transformadores Existentes	43
Tabla 04. Lista de Líneas de Transmisión Existentes	44
Tabla 05. Lista de Banco de Capacitores Existentes	44
Tabla 06. Carga Conectada por Subestación del Sistema Eléctrico Mina Marcapunta Norte	46
Tabla 07. Cargas del Sistema Eléctrico Mina Marcapunta Norte	47
Tabla 08. Perfiles de Tensión.....	51
Tabla 09. Cargabilidad de Líneas y Cables de Energía	53
Tabla 10. Cargabilidad de los Transformadores	55
Tabla 11. Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Superficie	59
Tabla 12. Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Mina	60
Tabla 13. Lista de Bancos de Capacitores Adicionados para la Simulación en el Sistema Eléctrico Mina Marcapunta Norte	61
Tabla 14. Perfiles de Tensión Sistema Reforzado	63
Tabla 15. Cargabilidad de Líneas y Cables de Energía Sistema Reforzado	65
Tabla 16. Cargabilidad de los Transformadores Sistema Reforzado.....	67
Tabla 17. Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Sistema Reforzado Superficie ..	71
Tabla 18. Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Sistema Reforzado Mina.....	72
Tabla 19. Lista de Bancos de Capacitores adicionados para la Simulación en el Sistema Eléctrico Mina Marcapunta Norte	73
Tabla 20. Perfiles de Tensión Sistema en Anillo	75
Tabla 21. Cargabilidad de Líneas y Cables de Energía Sistema en Anillo.....	77
Tabla 22. Cargabilidad de los Transformadores Sistema en Anillo	79
Tabla 23. Reducción del Nivel de Cargabilidad en las Líneas	80
Tabla 24. Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Sistema en Anillo Superficie....	82
Tabla 25. Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Sistema en Anillo Mina.....	84
Tabla 26. Comparación de Perfiles de Tensión en Máxima Demanda.....	86
Tabla 27. Comparación de Cargabilidad de Líneas en Máxima Demanda.....	87
Tabla 28. Comparación de Cargabilidad de Transformadores en Máxima Demanda	89
Tabla 29. Comparación de Máximas Corrientes de Corto Circuito en Máxima Demanda	91
Tabla 30. Perfiles de Tensión en Contingencias – Máxima Demanda	95
Tabla 31. Perfiles de Tensión en Contingencias – Mínima Demanda	96
Tabla 32. Cargabilidad de Líneas y Cables de Energía en Contingencias.....	98
Tabla 33. Cargabilidad de Transformadores en Contingencias	102
Tabla 34. Bancos de Condensadores a Implementar	106
Tabla 35. Presupuesto Referencial I Etapa	107
Tabla 36. Presupuesto Referencial II Etapa	108
Tabla 37. Presupuesto Referencial III Etapa.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Modelo π de una Línea de Transmisión	22
Figura 02. Desfasaje de la Línea de Transmisión	22
Figura 03. Modelo de los Transformadores de Potencia	22
Figura 04. Circuito de Superficie Mina –load_SE_RB9 0.46	24
Figura 05. Flujo de Carga para el Circuito- load_SE_RB9 0.46	25
Figura 06. Esquema Unifilar para el Circuito- load_SE_RB9 0.46.....	26
Figura 07: Diagrama Unifilar de un Transformador de Dos Devanados.....	28
Figura 08: Diagrama Unifilar de un Transformador de Tres Devanados	29
Figura 09: Transformaciones Triángulo - Estrella.....	30
Figura 10. Representación de los Transformadores de Tres Devanados	30
Figura 11: Configuración IneDRVRBS-DRVBM4635_10.5	32
Figura 12. Diagrama Unifilar de la Subestación Smelter	41
Figura 13. Perfiles de Tensión en Superficie	51
Figura 14. Perfiles de Tensión en Interior Mina	52
Figura 15. Niveles de Carga en Líneas Condición Normal – Superficie.....	54
Figura 16. Niveles de Carga en Líneas Condición Normal – Interior Mina.....	54
Figura 17. Cargabilidad de los Transformadores Condición Normal.....	56
Figura 18. Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Superficie.....	59
Figura 19. Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Mina.....	60
Figura 20. Perfiles de Tensión Sistema Reforzado en Superficie.....	64
Figura 21. Perfiles de Tensión Sistema Reforzado Interior Mina	64
Figura 22. Niveles de Carga en Líneas Sistema Reforzado- Superficie.....	66
Figura 23. Niveles de Carga en Líneas Sistema Reforzado – Interior Mina	66
Figura 24. Cargabilidad de los Transformadores Sistema Reforzado	68
Figura 25. Ubicación S.E. RB-12 propuesta de implementación de línea en 4.16 kV en Interior Mina	69
Figura 26. Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Sistema Reforzado Superficie.....	71
Figura 27. Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Sistema Reforzado Mina	72
Figura 28. Perfiles de Tensión Sistema en Anillo Superficie	75
Figura 29. Perfiles de Tensión Sistema en Anillo Interior Mina	76
Figura 30. Niveles de Carga en Líneas Sistema en Anillo – Superficie	78
Figura 31. Niveles de Carga en Líneas Sistema en Anillo – Interior Mina.....	78
Figura 32. Cargabilidad de los Transformadores Sistema en Anillo	79
Figura 33. Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Sistema en Anillo Superficie	83
Figura 34. Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Sistema en Anillo Mina	84
Figura 35. Tensión en Barras Superficie en Máxima Demanda sin BC	86
Figura 36. Tensión en Barras Mina en Máxima Demanda sin BC	86
Figura 37. Cargabilidad de las Líneas Superficie Máxima Demanda sin BC	88
Figura 38. Cargabilidad de las Líneas Mina Máxima Demanda sin BC	88
Figura 39. Cargabilidad de Transformadores Superficie Máxima Demanda sin BC	89
Figura 40. Cargabilidad de Transformadores Mina Máxima Demanda sin BC	90
Figura 41. Máx. Corriente de Corto Ckto. en Máx. Demanda – Barra SE_RB12_10.5	91
Figura 42. Máx. Corriente de Corto Ckto. en Máx. Demanda – Barra SE_RP1091_0.46.....	92
Figura 43. Perfiles de Tensión en Contingencias – Máxima Demanda Superficie	95
Figura 44. Perfiles de Tensión en Contingencias – Máxima Demanda Mina	96
Figura 45. Perfiles de Tensión en Contingencias – Mínima Demanda Superficie	97

Figura 46. Perfiles de Tensión en Contingencias – Mínima Demanda Mina	97
Figura 47. Niveles de Carga de Líneas en Contingencia – Superficie	99
Figura 48. Niveles de Carga de Líneas en Contingencia – Superficie	99
Figura 49. Niveles de Carga de Líneas en Contingencia – Superficie	100
Figura 50. Niveles de Carga de Líneas en Contingencia – Interior Mina	100
Figura 51. Niveles de Carga de Líneas en Contingencia – Interior Mina	101
Figura 52. Niveles de Carga de Líneas en Contingencia – Interior Mina	101
Figura 53. Cargabilidad de Transformadores en Contingencias.....	103
Figura 54. Cargabilidad de Transformadores en Contingencias.....	103
Figura 55: Cargabilidad de Transformadores en Contingencias	104

RESUMEN

La presente tesis analiza los flujos de potencia y corrientes de corto circuito con ayuda del programa computacional ETAP versión 7.5, como objetivo es demostrar la influencia de la ampliación de nuevas cargas en la operación del sistema eléctrico de distribución de mina Marcapunta Norte exterior 10 kV y mina subterránea 4.16 kV – Sociedad Minera el Brocal S.A.A.; mediante el reforzamiento y cambio de configuración del sistema eléctrico

Para realizar la investigación se desarrolló un diagnóstico del equipamiento ubicado en las minas Marcapunta Norte y Subterránea, análisis de flujo de potencia y de corrientes de cortocircuito; determinando los posibles inconvenientes debido al aumento de carga y definiendo las soluciones de implementación para cada situación. Para las respectivas simulaciones se ha tomado en consideración la configuración del Sistema Eléctrico El Brocal para situación actual y para situación proyectada en máximas y mínimas demandas, utilizando la base de datos proporcionada por el COES como información de referencia.

Resultados, se presentan escenarios de contingencias con las propuestas de mejoramiento, se determinan los parámetros eléctricos para el cálculo de cortocircuito y el presupuesto referencial para la implementación de los proyectos propuestos para mejorar el sistema eléctrico de distribución de las minas Marcapunta Norte 10.5 kV y Subterránea 4.16 kV.

ABSTRACT

This thesis analyzes the power flows and short circuit currents with the help of the computer program ETAP version 7.5, as an objective demonstrates the influence of the expansion of new loads in the operation of the electrical distribution system of Marcapunta Norte mine outside 10 kV and mine underground 4.16 kV - Sociedad Minera el Brocal SAA; through reinforcement and system change

To carry out the research study for the diagnosis of equipment at the Marcapunta Norte and Subterránea mines, analysis of power flow and short circuit currents; determining the possible disadvantages for the increase of the load and defining the solutions of implementation for each situation. For the respective evaluations, the situation of the El Brocal Electrical System has been considered for the real situation and for the situation projected in maximum and minimum demands, using the database provided by the COES as reference information.

Results, contingency scenarios are presented with improvement proposals, electric parameters for short-circuit calculation and the reference budget for the implementation of the proposed projects to improve the electrical distribution system of Marcapunta Norte 10.5 kV and Subterránea brands are determined. 4.16 kV.

INTRODUCCIÓN

La Sociedad Minera El Brocal se dedica a la extracción, concentración y comercialización de minerales; para no mermar su producción necesitan confiabilidad y continuidad de suministro eléctrico; para tal fin, se modifica la configuración de sistema radial a sistema en anillo, repotencian sus líneas de media tensión, invierten en equipamiento; debido al incremento de demanda eléctrica es necesario la implementación o reestructuración de las líneas de media tensión.

La presente tesis tiene por finalidad demostrar la influencia que tiene el incremento de carga debida a la ampliación de la mina Marcapunta Norte Exterior 10 kV y mina Subterránea 4.16 kV en el flujo de potencia e incrementos de corrientes de corto circuito del sistema eléctrico de la Minera El Brocal, y por consiguiente al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, evaluando el comportamiento de los equipos.

Para lograr los resultados óptimos se realizó un diagnóstico del equipamiento, las simulaciones de flujo de potencia y fallas de cortocircuito mediante el programa computacional ETAP, versión 7.5; para los diferentes escenarios de análisis. Como resultado de las simulaciones se realizó un análisis de implementación de proyectos por etapas para el mejoramiento del sistema eléctrico

En el capítulo I, denominado planteamiento de la investigación, se detallan el planteamiento y formulación del problema, los objetivos que se pretenden lograr, con la respectiva justificación de la investigación.

En el capítulo II, se realizó el marco teórico conceptual con referencia al análisis de flujo de potencia y cortocircuito. En el capítulo III, se realizó un diagnóstico del equipamiento

que influye en el análisis del sistema eléctrico de distribución de las minas Marcapunta Norte y Subterránea, identificando sus parámetros eléctricos para realizar las simulaciones. Asimismo, se dan a conocer las características que tiene el sistema eléctrico de distribución, se detalla el análisis del sistema eléctrico mediante el análisis de flujo de potencia y cortocircuito en condiciones normales.

En el capítulo IV, se aborda las alternativas de solución a los problemas diagnosticados en la situación actual, mediante el reforzamiento de la red y la propuesta del sistema eléctrico en anillo.

El Autor

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Fundamentación del problema

La Empresa Sociedad Minera El Brocal S.A.A. viene implementando nuevas instalaciones con la finalidad de incrementar su producción, con el consecuente incremento del consumo de energía eléctrica, ejecutando un análisis de flujo de potencia con diferentes configuraciones se optimizará el sistema eléctrico de la mina Marcapunta Norte, garantizando la continuidad del servicio eléctrico.

Para lograr con éxito la optimización del sistema de distribución de la mina Marcapunta Norte es necesario la implementación en etapas; reforzamiento del sistema eléctrico de distribución en nivel de tensión 4.16 kV, operación del sistema eléctrico mina en anillo en nivel de tensión 10 kV y repotenciación de la subestación Smelter, para lo cual es necesario realizar su diseño de ingeniería y analizar la influencia que puede ocasionar en el sistema eléctrico de distribución Marcapunta Norte, para lo cual

se realiza primeramente un análisis de flujo de potencias en el sistema eléctrico con situaciones de contingencia para identificar que todos los parámetros eléctricos sean los adecuados. Posterior a ello se analiza las corrientes de cortocircuito en los diferentes tipos de falla (trifásica, bifásica, monofásica) para obtener las máximas y mínimas corrientes de cortocircuito, verificando los incrementos o decrementos en las barras de las subestaciones adyacentes.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿De qué manera influye la ampliación de nuevas cargas en la mina Marcapunta Norte exterior 10 kV y mina subterránea 4.16 kV – Sociedad Minera el Brocal S.A.A. en la operación del sistema eléctrico de distribución?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es la variación de los parámetros en el flujo de potencia debido al incremento de carga en el sistema eléctrico de la mina Marcapunta Norte?
- b. ¿Cuál es la variación de parámetros en el análisis de corrientes de cortocircuito debido al aumento de carga en el sistema eléctrico de la mina Marcapunta Norte?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Establecer la influencia de la ampliación de nuevas cargas en las minas Marcapunta Norte exterior 10 kV y mina subterránea 4.16 kV – Sociedad Minera el Brocal S.A.A.; mediante el reforzamiento y cambio de configuración

del sistema eléctrico en la carga de la operación del sistema eléctrico de distribución.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Determinar la variación de los parámetros del análisis de flujos de potencia debido al aumento de carga en el sistema eléctrico de la mina Marcapunta Norte.
- b. Determinar la variación de los parámetros del análisis de corto circuito debido al aumento de carga en el sistema eléctrico de la mina Marcapunta Norte, de modo que los equipos electromecánicos sean capaces de soportar las corrientes de cortocircuito obtenidos en el estudio.

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Justificación práctica

En primer lugar, se desarrolló el diagnóstico del sistema eléctrico de distribución de la mina Marcapunta Norte. Para luego desarrollar todo lo concerniente al análisis del sistema eléctrico, cálculos de flujo de potencia, análisis de corriente de cortocircuito y propuesta de mejora del sistema eléctrico de distribución de la mina Marcapunta Norte. Con todos los cálculos realizados se demostrará los beneficios que adquiere el sistema eléctrico de la mina El Brocal con las propuestas de mejora; garantizando la continuidad del suministro eléctrico. Con la optimización del sistema eléctrico de distribución de la mina Marcapunta Norte se reforzará el sistema de nivel de tensión de 4.16 kV y se generará un sistema en anillo en nivel de tensión de 10 kV, garantizando la correcta operación del Sistema Eléctrico de la Minera El Brocal. Así mismo

permite una estabilidad y seguridad operacional en el sistema eléctrico como consecuencia de la correcta operación, maximizando así, la eficiencia de los recursos destinados para este fin los resultados óptimos y confiables producto del análisis del sistema eléctrico de distribución de la mina Marcapunta Norte, ejemplifican la necesidad de replicar en las otras unidades de la compañía, del mismo modo en otras entidades de similares características.

1.4.2. Justificación teórica

El estudio de investigación analiza la situación de carga en el sistema eléctrico de distribución de la mina Marcapunta Norte basados en criterios técnicos; desde un punto de vista de ingeniería plantear soluciones para que el sistema eléctrico de la minera no sea afectado en ninguno de sus barras. Para tal fin, se tiene que aplicar conceptos básicos y avanzados en cuanto a Sistemas Eléctricos de Potencia se refiere y criterios de análisis de flujo de potencia y cortocircuito, el soporte computacional a utilizar es el software ETAP v.7.5, lo que facilitará la obtención de información de los parámetros eléctricos del Sistema Eléctrico de la Minera El Brocal. La presente investigación también sirve como precedente y aporta conocimientos a otros estudios en unidades de estudios con similares características.

1.4.3. Justificación metodológica

En términos metodológicos, la presente investigación es de tipo descriptivo en el cuál ha de revisar y analizar el estado actual de la variable de investigación, siendo para este estudio el sistema eléctrico de distribución, para la ampliación de Mina Marcapunta Norte Exterior 10.5 Kv Y Mina Subterránea 4.16 Kv – Sociedad Minera El Brocal S.A.A, en el presente año 2018. La S.M

El Brocal necesita conocer el estado de su sistema eléctrico y las propuestas de solución a fin de programar su implementación y mejorar la seguridad y confiabilidad en su sistema eléctrico.

1.5. Importancia

La importancia de la presente investigación se basa en la capacidad de avance en el proceso de aprendizaje del tema desarrollado en el trabajo se presentó con la finalidad de conocer los resultados del análisis de los parámetros eléctricos del estudio de los sistemas eléctricos de distribución de la mina norte, de la empresa sociedad minera El Brocal, de naturaleza radial actualmente. Esto permite tener el conocimiento acerca de los sistemas eléctricos de interior mina, su característica de desbalance de tensión y la importancia de llevar a cabo estudios de flujos de potencia y estudios de corto circuito en la línea de distribución. Esto trae un provecho al tomar decisiones ante modificaciones en la demanda de energía del sistema, y que las determinaciones sean rápidas y acertadas, con ello evitar tener impactos económicos perjudiciales por la afectación del desarrollo de los procesos productivos y de servicios.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

La ampliación de nuevas cargas en las minas Marcapunta Norte exterior 10 kV y mina subterránea 4.16 kV, requiere la modificación del sistema eléctrico de distribución de la Sociedad Minera el Brocal S.A.A..

1.6.2. Hipótesis específicas

- a. En cuanto al análisis de flujo de potencia, se aprecia una variación significativa de los parámetros eléctricos debido al aumento de carga en el sistema eléctrico de la mina Marcapunta Norte.
- b. En cuanto al análisis de corrientes de cortocircuito, se aprecia una variación considerable de los parámetros eléctricos debido al aumento de carga en el sistema eléctrico de la mina Marcapunta Norte.

1.6.3. Descripción de variables

Tabla 01.
Descripción de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Ampliación de nuevas cargas en el sistema eléctrico	Flujo de tensión	p.u.
Operación del sistema eléctrico	Máximas corrientes de corto circuito Mínimas corrientes de corto circuito	Nivel de carga (en porcentajes)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

En sistemas eléctricos de potencia, se busca obtener el modelo de circuito de una interconexión arbitraria de transformadores, líneas de transporte de energía y generadores trifásicos (sistema eléctrico de potencia) a partir de una definición axiomática del circuito equivalente de cada uno de sus componentes y de la interpretación de los datos de placa de generadores y transformadores. Los Sistemas Eléctricos de Potencia modernos, deben estar en todo momento, día y noche, dispuestos para suministrar ininterrumpidamente energía eléctrica a los usuarios.

El análisis de flujo de potencia y análisis de corrientes de cortocircuito, juegan un papel muy importante a la hora de garantizar este servicio continuo. Los perfiles de tensión deben estar en el rango establecido por la norma.

Se consideran los siguientes antecedentes:

Según GLOVER & SARMA [1] el transformador delta-estrella se usa como un elevador para generador, en donde el devanado en delta se conecta a las terminales del generador y el devanado en estrella se conecta a una línea de transmisión. Una ventaja de un devanado en estrella de alta tensión es que, en el lado de alta tensión, se suministra un punto neutro N para conectar a tierra. Con un neutro permanentemente a tierra se reducen las necesidades de aislamiento para los devanados de alta tensión del transformador.

GRAINGER & STEVENSON [2] mencionan que cuando se conecta o se desconecta una línea del sistema por medio de los interruptores, las corrientes de línea se redistribuyen a través de la red y los voltajes de las barras cambian.”

De otro lado el IEC [3] establece que los motores de media tensión y motores de baja tensión contribuyen a la corriente de cortocircuito simétrica inicial I_k ", para el cortocircuito i_p corriente de pico, a la corriente de corte I_b cortocircuito simétrica y, por cortocircuitos desequilibrados, también a la corriente de cortocircuito en estado estacionario I_k .

La potencia aparente de cortocircuito [3] de la red en el lugar de la instalación del transformador debería ser especificada por el comprador en su petición de oferta, con objeto de obtener el valor de la corriente de cortocircuito simétrica a ser utilizada para el diseño y los ensayos.

KINDERMANN [4], referencia a .FORTESCUE, quien por medio del teorema (Método de Componentes Simétricas aplicado a solución de Circuitos Polifásicos), establece que un sistema de “n” fasores desequilibrados puede ser descompuesto en “n” sistemas de fasores equilibrados, denominados componentes simétricas de fasores

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Análisis de flujo de potencia

Los estudios de flujos de potencia son de gran importancia en la planeación y diseño de la expansión futura de los sistemas de potencia, así como también en la determinación de las mejores condiciones de operación de los sistemas existentes. La información principalmente que se obtiene de un estudio de flujos de potencia es la magnitud y el ángulo de fase del voltaje en cada barra y la potencia real y reactiva que fluyen en cada línea [2].

2.2.2. Modelo de los elementos de un sistema eléctrico de potencia

Líneas de transmisión

Una línea de transmisión conectada a las barras i-k de un sistema de energía eléctrica se puede representar por el modelo equivalente π , mostrado en la Figura 1 y definido por las características físicas de la línea: la conductancia serie G_{km} , la susceptancia serie B_{km} y la mitad de la susceptancia shunt (conectado a tierra) jb_{km}^{sh} .

La admitancia serie Y_{km} está definida por:

$$\bar{Y}_{km} = G_{km} + jB_{km} \quad (1)$$

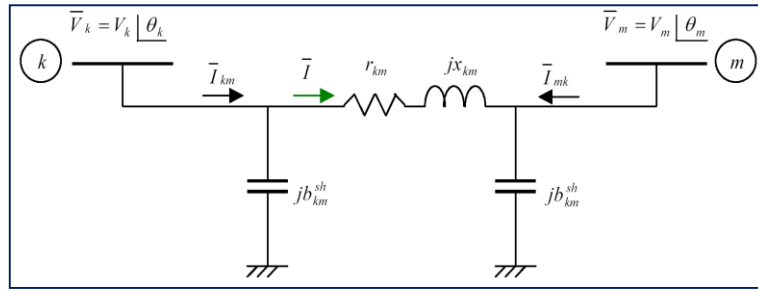


Figura 01. Modelo π de una Línea de Transmisión
Fuente: Glover & Sarma, 2003 [1]

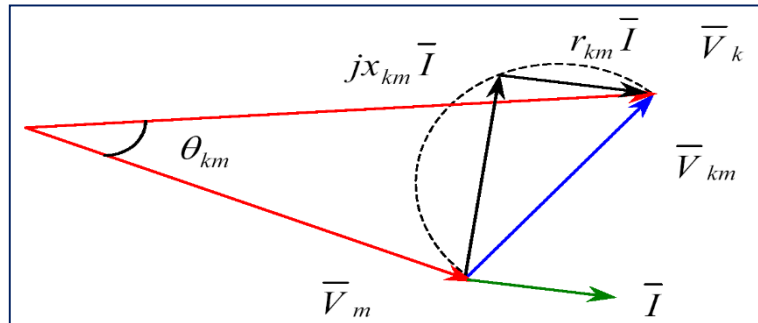


Figura 02. Desfasaje de la Línea de Transmisión
Fuente: Glover & Sarma [1]

$$P_{km} = V_k^2 G_{km} - V_k V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + b_{km} \sin \theta_{km}) \quad (14)$$

$$Q_{km} = -V_k^2 (B_{km} + b_{km}^{sh}) - V_k V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - b_{km} \cos \theta_{km}) \quad (15)$$

Transformadores

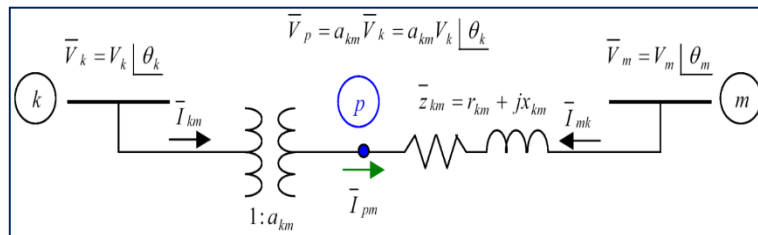


Figura 03. Modelo de los Transformadores de Potencia
Fuente: Gómez, 2002 [5]

2.2.3. Formulación de las ecuaciones por el método de Newton - Raphson

- No se ignora la parte reactiva
- Aproximación lineal.

$$\text{Base: } P_i + jQ_i = V_i \sum_{j=1}^n V_j^* Y_{ij}^* \quad (33)$$

La parte activa estará determinado por:

$$P_1 = f_1(V_1, \dots, V_n, \theta_1, \dots, \theta_n) \quad (34)$$

$$\Delta P_1 = \frac{\partial f_1}{\partial V_1} \Delta V_1 + \dots + \frac{\partial f_1}{\partial V_n} \Delta V_n + \frac{\partial f_1}{\partial \theta_1} \Delta \theta_1 + \dots + \frac{\partial f_1}{\partial \theta_n} \Delta \theta_n \quad (35)$$

$$P_i = f_i(V_1, \dots, V_n, \theta_1, \dots, \theta_n) \quad (36)$$

$$\Delta P_i = \frac{\partial f_i}{\partial V_1} \Delta V_1 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial V_n} \Delta V_n + \frac{\partial f_i}{\partial \theta_1} \Delta \theta_1 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial \theta_n} \Delta \theta_n \quad (37)$$

$$P_n = f_n(V_1, \dots, V_n, \theta_1, \dots, \theta_n) \quad (38)$$

$$\Delta P_n = \frac{\partial f_n}{\partial V_1} \Delta V_1 + \dots + \frac{\partial f_n}{\partial V_n} \Delta V_n + \frac{\partial f_n}{\partial \theta_1} \Delta \theta_1 + \dots + \frac{\partial f_n}{\partial \theta_n} \Delta \theta_n \quad (39)$$

La parte reactiva estará determinada por:

$$Q_1 = g_1(V_1, \dots, V_n, \theta_1, \dots, \theta_n) \quad (40)$$

$$\Delta Q_1 = \frac{\partial g_1}{\partial V_1} \Delta V_1 + \dots + \frac{\partial g_1}{\partial V_n} \Delta V_n + \frac{\partial g_1}{\partial \theta_1} \Delta \theta_1 + \dots + \frac{\partial g_1}{\partial \theta_n} \Delta \theta_n \quad (41)$$

$$Q_i = g_i(V_1, \dots, V_n, \theta_1, \dots, \theta_n) \quad (42)$$

$$\Delta Q_i = \frac{\partial g_i}{\partial V_1} \Delta V_1 + \dots + \frac{\partial g_i}{\partial V_n} \Delta V_n + \frac{\partial g_i}{\partial \theta_1} \Delta \theta_1 + \dots + \frac{\partial g_i}{\partial \theta_n} \Delta \theta_n \quad (43)$$

$$Q_n = g_n(V_1, \dots, V_n, \theta_1, \dots, \theta_n) \quad (44)$$

$$\Delta Q_n = \frac{\partial g_n}{\partial V_1} \Delta V_1 + \dots + \frac{\partial g_n}{\partial V_n} \Delta V_n + \frac{\partial g_n}{\partial \theta_1} \Delta \theta_1 + \dots + \frac{\partial g_n}{\partial \theta_n} \Delta \theta_n \quad (45)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \Delta Q_1 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial \theta_n} & \frac{\partial f_1}{\partial V_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial V_n} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial \theta_n} & \frac{\partial f_n}{\partial V_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial V_n} \\ \frac{\partial g_1}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial \theta_n} & \frac{\partial g_1}{\partial V_1} & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial V_n} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial g_n}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial g_n}{\partial \theta_n} & \frac{\partial g_n}{\partial V_1} & \dots & \frac{\partial g_n}{\partial V_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta_1 \\ \vdots \\ \Delta \theta_n \\ \Delta V_1 \\ \vdots \\ \Delta V_n \end{bmatrix} \quad (46)$$

El flujo de potencia del sistema eléctrico El Brocal se realizó en el programa computacional ETAP v. 7.5.

2.2.4. Análisis de un circuito mediante formulación

Para demostrar las formulaciones de flujo y cortocircuito por el método de NEWTON RAPHSON descrito en el Ítem 2.2.3. Se tomará como muestra un ramal del sistema en superficie mina.

EJEMPLO 01:

Área : Superficie Mina

Circuito : “load_SE_RB9 0.46”

Condición : Normal

Anexo : 2.3FP-superficie_SistemaReforzadoconBC's_MáxDem

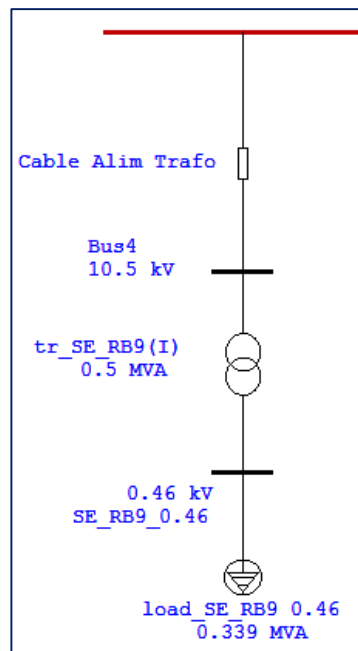


Figura 04. Circuito de Superficie Mina –load_SE_RB9 0.46
Fuente: Gómez, 2002 [5]

Para realizar el análisis orientado el circuito mostrado en la Figura 5 se realizó un equivalente de red para minimizar el sistema en la barra “SE_RB9_10.5” con una tensión nominal asignada de 10.5 kV.

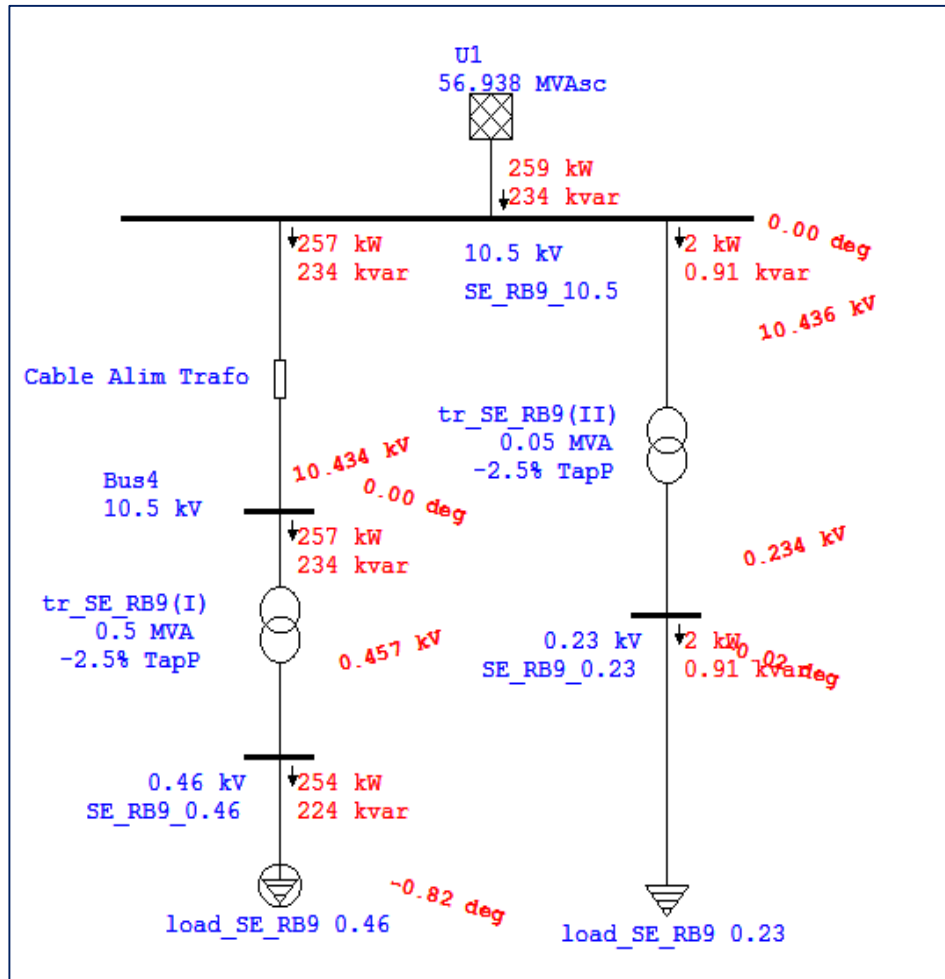


Figura 05. Flujo de Carga para el Circuito- load_SE_RB9 0.46
Fuente: Gómez, 2002 [5]

Se realizará la iteración del sistema considerando las ecuaciones y las siguientes variables tomando en consideración el siguiente circuito mostrado:

El cable tripolar de 95 mm² de Alim Trafo considera una longitud de 200 m y cuenta con una impedancia de 0.05106+0.02318j

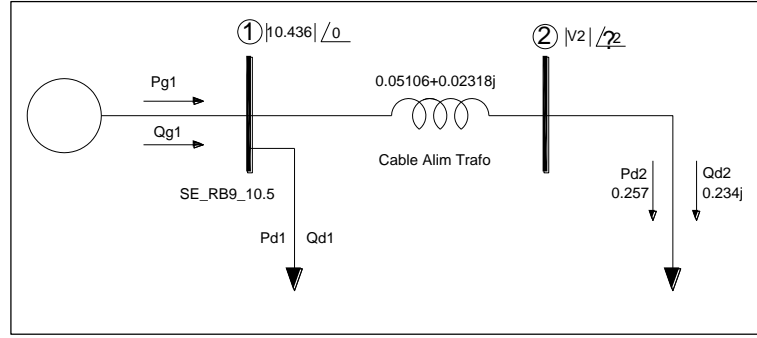


Figura 06. Esquema Unifilar para el Circuito- load_SE_RB9 0.46
Fuente: Gómez, 2002 [5]

Realizamos las ecuaciones con las variables en este caso $V2$ y $\delta 2$

$$\frac{0.257+0.234j}{(V2 \angle \delta 2^\circ)^*} (0.05106 + 0.02318j) + V2 \angle \delta 2^\circ = 10.436 \angle 0^\circ \quad (59)$$

$$10.436V2 \cos(\angle \delta 2^\circ) - V2^2 - 0.076983 = 0 \quad (60)$$

$$10.436V2 \sin(\angle \delta 2^\circ) + 0.0179053 = 0 \quad (61)$$

Siendo (01) y (02) las ecuaciones realizando cambio de variables

$$x1 = \delta 2^\circ \text{ y } x2 = V2$$

Realizando la matriz jacobiana:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial g1}{\partial x1} & \frac{\partial g1}{\partial x2} \\ \frac{\partial g2}{\partial x1} & \frac{\partial g2}{\partial x2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10.436 \cdot (x2) \sin(x1) & 10.436 \cdot \cos(x1) - 2(x2) \\ 10.436 \cdot (x2) \cos(x1) & 10.436 \sin(x1) \end{bmatrix} \quad (62)$$

Considerando las condiciones iniciales $x1 = 0^\circ$ y $x2 = 10.5$

$$\Delta g_1^{(0)} = 0 - g_{1,cal} = b_1 - h_1^{(0)} = 0.0076983 - (10.436 \times 10.5 \cos(0) - 10.5^2) \quad (63)$$

$$\Delta g_1^{(0)} = 0 - g_{1,cal} = b_1 - h_1^{(0)} = 0.6796983 \quad (64)$$

$$\Delta g_2^{(0)} = 0 - g_{2,cal} = b_2 - h_2^{(0)} = -0.0179053 - (10.436 \times 10.5 \sin(0)) \quad (65)$$

$$\Delta g_2^{(0)} = 0 - g_{2,cal} = b_2 - h_2^{(0)} = -0.0179053 \quad (66)$$

Por lo tanto:

$$\begin{bmatrix} 10.436 \cdot (10.5)\text{sen}(0) & 10.436 \cdot \cos(0) - 2(10.5) \\ 10.436 \cdot (10.5)\cos(0) & 10.436\text{sen}(0) \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6796983 \\ -0.0179053 \end{bmatrix} \quad (67)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -10.564 \\ 109.578 & 0 \end{bmatrix}^{-1} x \begin{bmatrix} 0.6796983 \\ -0.0179053 \end{bmatrix} \quad (68)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.0001634 \\ -0.064341 \end{bmatrix} \quad (69)$$

Primera iteración:

$$x_1^{(1)} = x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)} = 0 + (-0.0001634) = -0.0001634 \text{rad} \quad (70)$$

$$x_2^{(1)} = x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)} = 10.5 + (-0.064341) = 10.435659 \quad (71)$$

De la misma forma se realiza las iteraciones para un índice de precisión de 10-5

$$\Delta g_1^{(1)} = 0 - g_{1,cal} = 0.00413976 \quad (72)$$

$$\Delta g_2^{(1)} = 0 - g_{2,cal} = -0.01759471 \quad (73)$$

De donde:

$$\begin{bmatrix} \Delta x_1^{(1)} \\ \Delta x_2^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.00016156 \\ -0.0003967 \end{bmatrix} \quad (74)$$

Segunda iteración:

$$x_1^{(2)} = -0.00032496 \text{rad} \quad (75)$$

$$x_2^{(2)} = 10.4352623 \quad (76)$$

Tercera iteración:

$$x_1^{(3)} = -0.0004837 \text{rad} \quad (77)$$

$$x_2^{(3)} = 10.43526229 \quad (78)$$

Cuarta iteración:

$$x_1^{(4)} = -0.000639679 \text{rad} \quad (79)$$

$$x_2^{(4)} = 10.43526229 \quad (80)$$

Quinta iteración:

$$x_1^{(5)} = -0.0007923rad \quad (81)$$

$$x_2^{(5)} = 10.4352623 \quad (82)$$

Como se puede observar los errores son insignificantes:

$$x_1^{(5)} = -0.0007923rad \quad (83)$$

$$x_2^{(5)} = 10.4352623 \quad (84)$$

Las iteraciones en el software para estos sistemas involucran mayores cantidades de iteraciones, los valores considerados en el Figura 6 considera similitud de datos para:

$$x_1^{(5)} = 0^\circ \cong -0.04543^\circ \quad (85)$$

$$x_2^{(5)} = 10.434 \cong 10.4352623 \text{ V} \quad (86)$$

2.2.5. Cálculos de parámetros de cortocircuito

A. Transformadores de dos devanados

Sobre la base de las características nominales del transformador, los parámetros serán calculados de la siguiente manera:

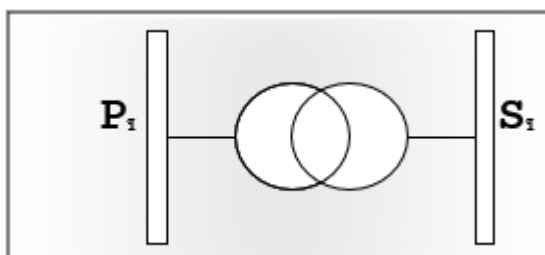


Figura 07: Diagrama Unifilar de un Transformador de Dos Devanados
Fuente: (Gómez, 2002)

$$X_{(+)} = X_{PU} \left(\frac{N_B \text{ Nueva}}{N_B \text{ Original}} \right) \left(\frac{V_B \text{ Original}}{V_B \text{ Nueva}} \right)^2 \text{ p.u.} \quad (87)$$

$$X_{(-)} = X_{(+)} \quad \text{y} \quad X_{(0)} = 0,85 X_{(+)} \quad (88)$$

Donde:

X_{pu} : Tensión de cortocircuito en P.U.

$X(+)$: Reactancia de secuencia positiva.

$X(-)$: Reactancia de secuencia negativa.

$X(0)$: Reactancia de secuencia cero.

B. Transformadores de tres devanados

Los transformadores de tres devanados están conformados básicamente por tres transformadores monofásicos. Sobre la base de las características nominales del transformador, los parámetros serán calculados de la siguiente manera:

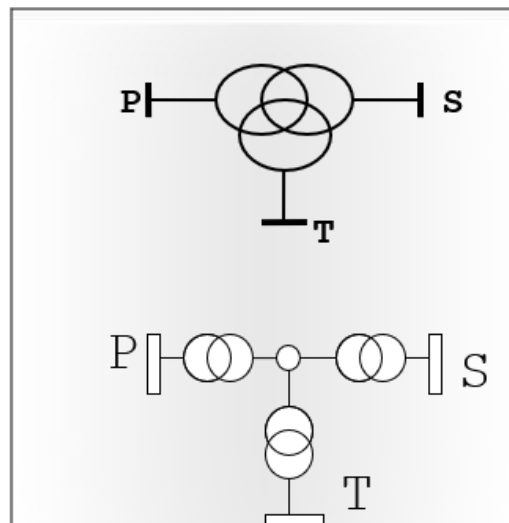


Figura 08: Diagrama Unifilar de un Transformador de Tres Devanados
Fuente: (Gómez, 2002)

Parámetros:

P_{cu-ps} :(%),

P_{cu-pt} :(%),

P_{cu-st} :(%),

V_{cc-ps} :(%),

V_{cc-pt} :(%),

Vcc-st :(%)
 Pfi :(%),
 Im :(%),
 Ptrafo :(MVA).

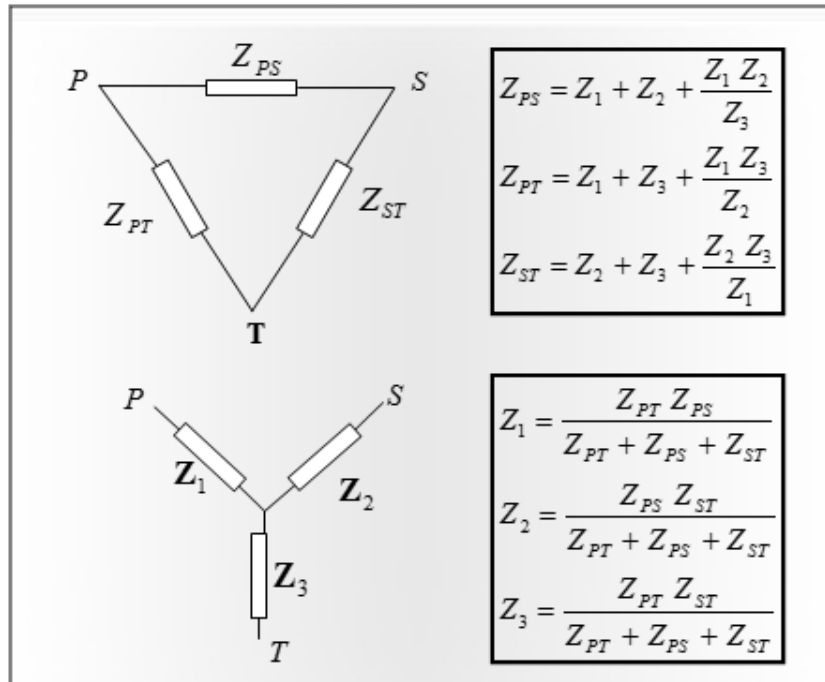


Figura 09: Transformaciones Triángulo - Estrella
 Fuente: (Kothari, D.P & Nagrath, I.J., 2008)

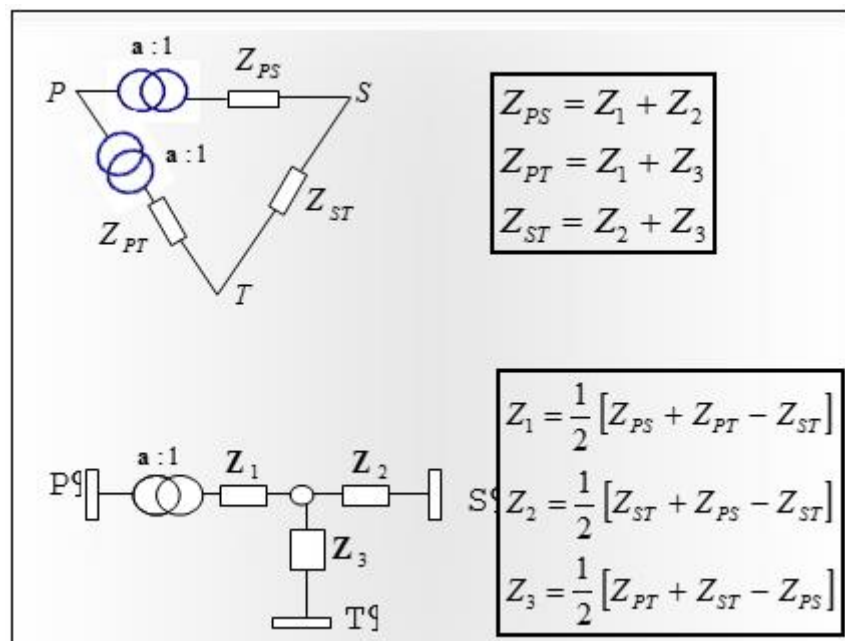


Figura 10. Representación de los Transformadores de Tres Devanados
 Fuente: (Kothari, D.P & Nagrath, I.J., 2008)

$$X_{(+)} = X_{PU} \left(\frac{N_B \text{ Nueva}}{N_B \text{ Original}} \right) \left(\frac{V_B \text{ Original}}{V_B \text{ Nueva}} \right)^2 \text{ p.u.} \quad (89)$$

$$X_{(-)} = X_{(+)} \quad \text{y} \quad X_{(0)} = 0,85 X_{(+)} \quad (90)$$

Donde:

X_{pu} : Tensión de cortocircuito en P.U.

$X_{(+)}$: Reactancia de secuencia positiva.

$X_{(-)}$: Reactancia de secuencia negativa.

$X_{(0)}$: Reactancia de secuencia cero.

2.2.6. Cálculos de los parámetros de las líneas de transmisión

La impedancia de secuencia positiva es la impedancia normal de una línea de transmisión. Existen varios libros especializados en métodos de obtención de la impedancia de líneas de transmisión.

En la práctica los parámetros de las líneas de transmisión son calculados teniendo en consideración las características de los conductores y sus respectivas disposiciones en las estructuras de transmisión.

A. Formulación de cálculo de DMG

$$DMG = \sqrt[mn]{(Daa'Dab'Dac' \dots Dam)(Dba'Dbb'Dbc' \dots Dbm) \dots (Dna'Dnb'Dnc' \dots Dnm)} \quad (91)$$

La raíz mn-ésima del producto de las mn distancias se llama distancia media geométrica.

Ejemplo de formulación: IneDRVRBS-DRVBM4635_10.5

Configuración:

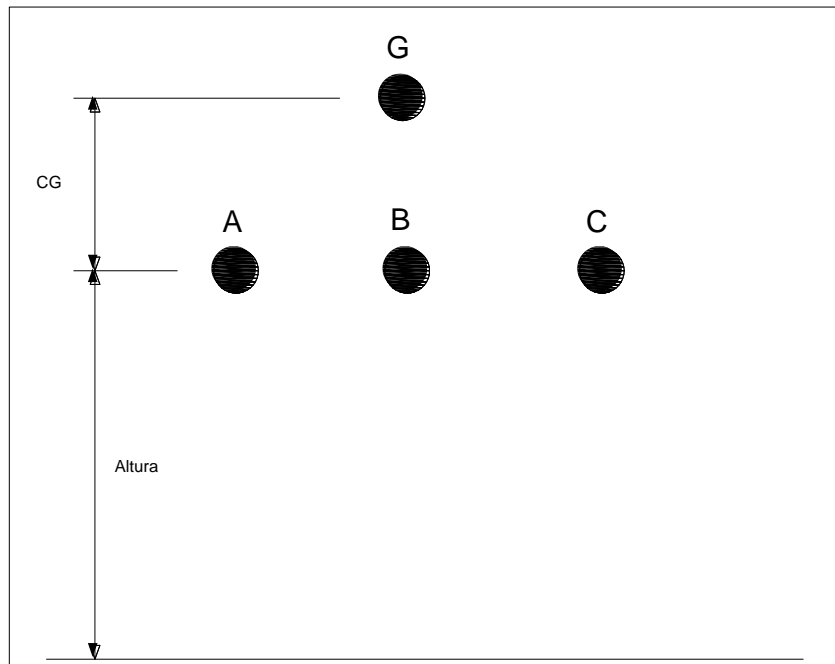


Figura 11: Configuración IneDRVRBS-DRVBM4635_10.5
Fuente: Gómez, 2002 [5]

Distancias:

Da-b : 0.8m

Db-c : 1.1m

Da-c : 1.9m

$$DMG = \sqrt[3]{0.8 \times 1.1 \times 1.9} = 1.18689m \quad (92)$$

a. Cálculo de la reactancia inductiva por fase

$$X_L = 2 \pi f \left(0,5 + 4,606 \log \frac{DMG}{RMG} \right) 10^{-4} \quad \Omega/km \quad (93)$$

$$X_L = 0,17364 \log \frac{DMG}{RMG} \quad \Omega/km \quad (94)$$

Donde:

f : Frecuencia del Sistema = 60 Hz

RMG : Radio efectivo del conductor

RMG = 0,7263*r para 07 alambres,

RMG = 0,7580*r para 19 alambres,

Siendo r el radio exterior del conductor en mm.

DMG : Distancia Media Geométrica de los conductores,

DMG : 1511,9 mm, para una configuración trifásica, con cruceta de Madera.

DMG : 756,0 mm, para una configuración trifásica, con cruceta de C.A.

B. Cálculo exacto de la resistencia

La resistencia de los conductores se calculará a la temperatura de operación, mediante la siguiente fórmula:

$$R_{LT} = R_{20} [1 + \alpha (T - 20^\circ)] \quad \text{ohm/km} \quad (95)$$

Donde:

R_{LT} : Resistencia de operación del conductor.

R_{20} : Resistencia del conductor en c.c. a 20°C, en ohm/km.

T : Temperatura de operación del conductor.

α : Factor que depende del tipo de material.

Para $\alpha = 25^\circ\text{C}$

α : 0,00375 Para cobre duro.

α : 0,00396 Para aluminio y ACSR.

α : 0,00354 Para aldreya.

α : 0,00346 Para acero 115.

C. Cálculo de la impedancia de secuencia homopolar.

Para el cálculo de este parámetro se emplearán las fórmulas de Carson, el cual considera la ubicación del conductor ficticio bajo tierra: (De).

$$De = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad m \quad (96)$$

Donde:

- De : Profundidad de retorno equivalente (m).
ρ : Resistividad del terreno (Ω-m).
f : Frecuencia del sistema (Hz).

c.1) Impedancia homopolar propia de los conductores (Z_{01}).

$$Z_{01} = R_c + 0,002964 f + j 0,008676 f \log \left(\frac{De}{RMG_1} \right) \quad (97)$$

Donde:

$$RMG_1 = \sqrt[3]{r (DMG_{abc})^2} \quad (98)$$

- DMG_{abc} : Distancia media de los conductores (mm).
r : Radio medio geométrico de cada conductor.

c.2) Impedancia homopolar propia de los cables de guarda.

$$Z_{0g} = 3 R_g + 13,084 + j 0,008676 f \log \left(\frac{De}{RMG_g} \right) \quad (99)$$

Donde:

$$RMG_g = \sqrt[3]{r_g (DMG_g)^2} \quad (100)$$

- RMG_g : Radio medio geométrico de los cables de guarda (mm).
R_g : Resistencia del cable de guarda.

c.3) Impedancia homopolar mutua entre conductores y cable de guarda.

$$Z_{0(m)} = 0,002964 f + j 0,008676 f \log \left(\frac{De}{RMG_{1g}} \right) \quad (101)$$

Donde:

$$DMG_{1g} = \sqrt[3]{(d_{ag} d_{bg} d_{cg})} \quad (102)$$

DMG_{1g}: Distancia media de los conductores y el cable de guarda.

c.4) Impedancia de secuencia homopolar de la línea de transmisión.

Finalmente se tiene:

$$Z_{00} = Z_{01} - \frac{(Z_{0(m)})^2}{Z_{0g}} \quad (103)$$

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método

El método de investigación de este estudio es científico, ya que se ha producido un modelo detallado de pasos a seguir, para poder comprobar la hipótesis. En este sentido, se hace una revisión previa del conocimiento previo a fin de obtener los resultados que pueden ser verdaderos o falsos utilizando los procedimientos de la enunciación, la ejecución y la demostración para lograr comprobar en los hechos o realidad objetiva de la hipótesis.

3.1.2. Nivel de investigación

La investigación ha sido trabajada a nivel descriptivo, mencionándose así, las características del proceso de elaboración del compost, así como la

valuación de los principales componentes, del mismo. Asimismo, se hace uso de un tipo de investigación aplicado, puesto que se hace uso de información previa para el desarrollo de la presente investigación, detallados en el marco teórico y los antecedentes.

3.1.3. Diseño de la investigación

Respecto al diseño de investigación es la experimental, es decir se ha tenido manipulación dentro de la población estudiada, así mismo la muestra ha sido tomada en diferentes periodos de tiempo, para ver la modificación de los parámetros eléctricos: voltaje, amperaje, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia y corriente de cortocircuito

3.1.4. Diseño del experimento

El método de la investigación fue Experimental.

3.2. Población y muestra de la investigación

3.2.1. Población

La investigación ha sido llevada a cabo en las instalaciones subterráneas de sociedad minera el Brocal.

3.2.2. Muestra

Así mismo, la muestra ha sido seleccionada de manera no aleatoria, comparando puntualmente las diferencias o semejanzas de sus parámetros óptimos de compost [23].

3.2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para el desarrollo de la presente tesis se utilizaron los siguientes equipos.
Laptop con la base de datos requerida, analizador de redes, pinza amperimétrica.

3.2.4. Técnicas

La técnica de simulación de datos a través del software de uso en sistemas eléctricos.

3.2.5. Instrumentos

Software: Electrical Power System Analysis & Operation Software 12.5
(ETAP)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis del sistema eléctrico

La Sociedad Minera El Brocal es una empresa dedicada a la extracción, concentración y comercialización de minerales polimetálicos: plata, plomo, zinc y cobre a través de sus operaciones en la Unidad Colquijirca y su planta concentradora de Huaraucaca.

A la fecha se viene implementando nuevas instalaciones con la finalidad de incrementar su producción, con el consecuente incremento del consumo de energía eléctrica.

La Empresa Sociedad Minera El Brocal necesita conocer el estado de su sistema eléctrico y las propuestas de solución a fin de programar su implementación y mejorar la seguridad y confiabilidad en su sistema eléctrico.

4.1.1. Especificaciones técnicas

El análisis del sistema eléctrico de distribución para la ampliación de la mina Marcapunta Norte exterior 10.5 kV y mina subterránea 4.16 kV – Sociedad Minera El Brocal S.A.A., considera las siguientes instalaciones:

- S.E. Smelter 4.0/5.0 MVA, 50/10.5 kV.
- Cables de energía y líneas de distribución en 10.5 kV, más subestaciones exteriores 10.5/4.16 kV y 10.5/0.46 kV.
- Cables de energía en 4.16 kV, más subestaciones subterráneas de 4.16/0.46 kV.

4.1.2. Descripción del sistema eléctrico

A. Descripción general

El sistema eléctrico de la S.M El Brocal, se conecta al SEIN a través de la línea Buena Vista - La Fundición en 50 kV de aproximadamente 2.15 km de las líneas de transmisión en doble terna 50 kV de propiedad de SN POWER. A través de la cual se deriva el suministro para las plantas concentradoras, mina subterránea, tajo abierto y servicios propios.

La S.M El Brocal cuenta con dos grupos de generación hidráulica (C.H. Rio Blanco y la C.H. Jupayagra), que se conectan a la barra de 10.50 kV de la S.E. Principal, con despachos de potencia de 1.1 MW y 1.5 MW respectivamente para el caso presentado en este estudio.

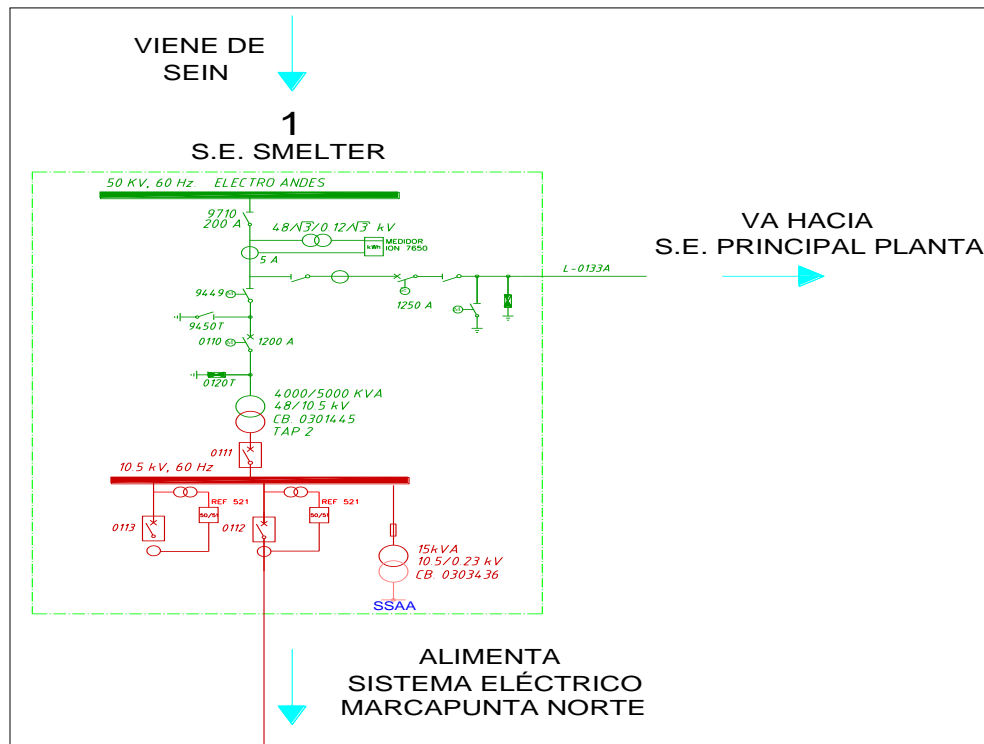


Figura 12. Diagrama Unifilar de la Subestación Smelter
Fuente: Gómez, 2002 [5]

a. Sistema eléctrico Marcapunta norte exterior – superficie

La alimentación del sistema eléctrico MT: Exterior 10.5 kV de Mina Marcapunta Norte de la S.M. El Brocal, se da a través de la línea en 10.5 kV aérea, el cual se conecta en la barra de la subestación Smelter, dicha subestación es alimentada a través del anillo que comprenden las barras Carhuamayo – Excelsior en 50 kV.

Cabe mencionar que dicha línea es un sistema radial a lo largo de su recorrido va alimentando distintas Subestaciones que a su vez alimentan cargas de equipos como son: ventiladores, compresoras, bombas y otros, que conforman parte de la carga de la Mina Marcapunta Norte exterior; sin embargo, existen cargas que son alimentadas por esta línea o por derivaciones de la misma; como por ejemplo las subestaciones que alimentan los distintos campamentos ubicados en

Colquijirca, la Subestación Fondo Tajo, la Subestación Agua Fresca por mencionar algunas; que no conforman parte de carga del Sistema Eléctrico Marcapunta Norte en sí, pero están involucradas en este estudio. El detalle de todas las subestaciones alimentadas por esta línea en mención se puede apreciar en el diagrama unifilar en el Anexo 01.

b. Sistema eléctrico Marcapunta norte exterior – mina subterránea

La alimentación del sistema eléctrico MT: Interior 4.2 kV de Mina Marcapunta Norte de la S.M. El Brocal, se da a través de tres líneas en 4.2 kV, la primera es un cable de energía proveniente de la celda de salida de uno de los transformadores de 2MVA que se encuentra en la Subestación RB6 y se dirige al interior de la mina a través del RB7, teniendo como primer punto de llegada la Subestación 312, para las dos líneas restantes se debe tener como referencia que del segundo transformador de 2MVA ubicado en la Subestación RB6 antes mencionado, conecta a la celda de salida una línea en 4.2kV de conductores aéreos que recorre un trayecto hasta el RB8 por donde con cables de energía continua su trayectoria a través de este hacia el interior de la mina, teniendo como punto de llegada la Subestación 9362 (en este espacio no hay ningún transformador, solo celdas), de la línea con conductores aéreos en 4.2kV antes mencionado a la altura del RB7 se tiene un derivación hacia el RB7 (un vano de conductores aéreos de aproximadamente 30mts de longitud) que posteriormente continua su trayectoria con cables de energía a través del RB7 hacia el interior de la mina, teniendo como primer punto de llegada la Subestación 9775 SUP.

En resumen, se tienen tres líneas en 4.2 kV que alimentan el interior de la Mina Marcapunta Norte provenientes de los dos transformadores de 2.0 MVA ubicados en la Subestación RB6, dos líneas ingresan por el RB7 y una por el RB8.

En el diagrama unifilar mostrado en el Anexo 01, se puede apreciar el detalle de lo descrito en los párrafos anteriores.

B. Configuración

El sistema Marcapunta Norte cuenta con un sistema eléctrico con las siguientes configuraciones en los diferentes niveles de tensión.

Tabla 02.
Configuración según Niveles de Tensión

Nivel de tensión (kV)	Tipo de Configuración
50	
10.5	Delta
4.2	Estrella neutro aterrado

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

C. Características técnicas de los equipamientos

a. Transformadores

Tabla 03.
Lista de Transformadores Existentes

TRANSFORMADORES EXISTENTES					
TRANSFORMADOR (Código ETAP)	POTENCIA	TENSIÓN PRIMARIA	TENSIÓN SECUNDARIA	GRUPO DE CONEXIÓN	TAP ACTUAL
	MVA	(kV)	(kV)		
SUPERFICIE					
tr_SMELTER	4/5	48	10.5	Yd5	4
tr_SE_MPN	0.55	10.5	0.46	Dyn5	4
tr_SE_RB1	0.55	10.5	0.46	Dyn5	3
tr_SE_RB3	2	10.5	0.46	Yd11	3
tr_SE_RB6(1)	2	10.5	4.2	Dyn5	3
tr_SE_RB6(2)	2	10.5	4.2	Dyn5	5
tr_SE_RB6(3)	0.55	10.5	0.46	Dyn5	3
tr_SE_RB9	0.55	10.5	0.46	Dyn5	4
tr_SE_BOCAMINA4635	0.55	10.5	0.46	Dyn5	5
MINA					
tr_SE_312	0.6	4.16	0.46	Dyn5	4
tr_SE_1090-2	0.6	4.16	0.46	Dyn5	5
tr_SE_9775SUP	0.63	4.2	0.46	Dyn5	5
tr_SE_TDF9775-1	0.63	4.2	0.46	Dyn5	5
tr_SE_1195INF	0.63	4.16	0.48	Dyn5	3
tr_SE_TDF9340W	0.63	4.16	0.48	Dyn5	2
tr_SE_9340INF	0.63	4.2	0.46	Dyn5	4
tr_SE_RP1345	0.6	4.16	0.46	Dyn5	5
tr_SE_8948INT	0.63	4.2	0.46	Dyn5	5
tr_SE_1091	0.6	4.16	0.46	Dyn5	4
tr_SE_RP1091	1	4.16	0.46	Dyn5	4
tr_SE_1091(-)	0.63	4.16	0.48	Dyn5	3

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

b. Líneas

Tabla 04.

Lista de Líneas de Transmisión Existentes

LÍNEAS EXISTENTES			
LÍNEA (Código ETAP)	SUB ESTACIÓN		CÓDIGO BROCAL
	BUS i	BUS j	
SUPERFICIE (CONDUCTORES AÉREOS)			
lneSESMELTER-SEMPN_10.5	SE_SMELTER_10.5	SE_MPN_10.5	L-0117
lneSEMPN-SELAGSMELT_10.5	SE_MPN_10.5	SE_LAGSMELT_10.5	L-1729A
lneSELAGSMELT-SERB3_10.5	SE_LAGSMELT_10.5	SE_RB3_10.5	-
lneSERB3-DRVRBS_10.5	SE_RB3_10.5	DRV_RBS_10.5	L-1729B
lneDRVRBS-SERB1_10.5	DRV_RBS_10.5	SE_RB1_10.5	L-1720
lneSERB1-SERB9_10.5	SE_RB1_10.5	SE_RB9_10.5	-
lneSERB9-SERB12_10.5	SE_RB9_10.5	SE_RB12_10.5	-
lneDRVRBS-DRVBM4635_10.5	DRV_RBS_10.5	DRV_BM4635_10.5	L-1729C
lneDRV4635-SE4635_10.5	DRV_BM4635_10.5	SE_BM4635_10.5	L-1732
lneDRVRBS-SERB6TRAM1_10.5	DRV_RBS_10.5	DRV_RBS-RB6(TRAMOII)_10.5	L-1726A
lneDRVRBS-SERB6TRAM2_10.5	DRV_RBS-RB6(TRAMOII)_10.5	SE_RB6_10.5	L-1726A
lneSERB6-DRVRB7_4.2	SE_RB6(1)_4.2	DRV_RB7_4.2	-
lneRB7_4.2	DRV_RB7_4.2	RB7_4.2	-
lneDRVRB7-RB8_4.2	DRV_RB7_4.2	RB8_4.2	-
INTERIOR MINA (CABLES DE ENERGÍA)			
lneRB7(I)-01_120mm	RB7_4.2	SE_312_4.2	-
lneRB7(I)-02_120mm	SE_312_4.2	RB7(I) 120mm-70mm_4.2	-
lneRB7(I)-03_70mm	RB7(I) 120mm-70mm_4.2	SE_1090-2_4.2	-
lneRB7(II)-01_120mm	SE_RB6(2)_4.2	RB7(II) 120mm-70mm_4.2	-
lneRB7(II)-02_70mm	RB7(II) 120mm-70mm_4.2	SE_9775SUP_4.2	-
lneRB7(II)-03_70mm	SE_9775SUP_4.2	SE_TDF9775-1_4.2	-
lneRB7(II)-04_70mm	SE_9775SUP_4.2	SE_1195INF_4.2	-
lneRB7(II)-05_70mm	SE_1195INF_4.2	SE_TDF9340W_4.2	-
lneRB7(II)-06_70mm	SE_TDF9340W_4.2	SE_9340INF_4.2	-
lneRB8-01_120mm	RB8_4.2	RB8_CELDA MINA_4.2	-
lneRB8-02_70mm	RB8_CELDA MINA_4.2	SE_RP1345_4.2	-
lneRB8-03_70mm	RB8_CELDA MINA_4.2	SE_8948INT_4.2	-
lneRB8-04_70mm	RB8_CELDA MINA_4.2	SE_1091_4.2	-
lneRB8-05_120mm	SE_1091_4.2	SE_RP1091_4.2	-
lneRB8-06_70mm	SE_RP1091_4.2	SE_1091(-)_4.2	-

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

c. Banco de condensadores

Tabla 05.

Lista de Banco de Capacitores Existentes

BANCO DE CAPACITORES EXISTENTES			
BANCO DE CONDENSADORES (Código ETAP)	POTENCIA	TENSIÓN NOMINAL	UBICACIÓN
	KVAR	(kV)	
SUPERFICIE			
bc_SE_MPN	400	0.46	SE MARCAPUNTA NORTE
bc_SE_RB1	400	0.46	SE RB1
bc_SE_RB3	600	0.46	SE RB3(Laguna Smelter)
bc_SE_RB6(3)	400	0.46	RB7

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

d. Potencia de cargas instaladas

Para el análisis del Sistema Eléctrico de La S.M El Brocal, se tuvieron en cuenta datos de carga obtenidos a partir de mediciones realizadas en campo en la visita a las instalaciones de la Mina Marcapunta Norte de la S.M. El Brocal; así como también de los datos

que el personal de la S.M. El Brocal, que nos acompañó durante la visita ya antes mencionada, basado en la experiencia y el conocimiento de las instalaciones del sistema eléctrico brindó y por último de datos como informes, tablas estadísticas, tablas de equipos instalados por subestación y diagramas unifilares que la supervisión de la S.M. El Brocal entregó.

e. Potencia instalada

Cada equipo (bombas, ventiladores, compresoras de aire, equipos trackless y otros) indica una capacidad máxima de funcionamiento. Con tal premisa para este estudio la potencia instalada será la máxima potencia que consumen todos los equipos e instalaciones involucradas en este estudio, funcionando a su máxima capacidad.

f. Máxima demanda

De acuerdo con la información recabada se designó datos de carga a cada subestación involucrada en el estudio de tal forma que la máxima demanda total coincida con las lecturas registradas en la Subestación Smelter en horas punta. Debe advertirse que para este caso del Sistema Eléctrico Marcapunta Norte, la máxima demanda no coincide con la potencia instalada descrita en el párrafo anterior; primero, debido a que la simultaneidad es menor a 1; segundo, a que mucho de los equipos no funcionan al 100% de su capacidad nominal.

g. Mínima demanda

Teniendo como premisa la potencia instalada y basada en la máxima demanda, la mínima demanda se obtiene restandole a la máxima demanda cargas que basada en la experiencia del proyectista no deben ser consideradas para este caso; como, por ejemplo, el consumo de los equipos trackless (Consumo 0%), etc.

Basado en lo descrito líneas arriba, se tienen las siguientes tablas:

Tabla 06.
Carga Conectada por Subestación del Sistema Eléctrico Mina Marcapunta Norte

CARGA CONECTADA POR SUBESTACION							
TRANSFORMADOR (Código ETAP)	POTENCIA INSTALADA	MÁXIMA DEMANDA			MÍNIMA DEMANDA		
		MW	MVA	MW	MVAR	MVA	MW
SUPERFICIE							
tr_SMELTER	7.493	5.318	4.103	3.346	4.506	3.491	2.814
tr_SE_MPN	0.229	0.184	0.138	0.122	0.184	0.138	0.122
tr_SE_RB1	0.319	0.201	0.151	0.133	0.201	0.151	0.133
tr_SE_RB3	0.817	0.373	0.280	0.247	0.196	0.147	0.130
tr_SE_RB6(1)	2.751	1.788	1.341	1.182	1.432	1.074	0.947
tr_SE_RB6(2)	1.805	1.268	0.951	0.839	1.011	0.758	0.669
tr_SE_RB6(3)	0.319	0.205	0.154	0.135	0.205	0.154	0.135
tr_SE_RB9	0.338	0.341	0.256	0.225	0.341	0.256	0.225
MINA							
tr_SE_312	0.460	0.377	0.283	0.250	0.377	0.283	0.250
tr_SE_1090-2	0.429	0.277	0.208	0.183	0.227	0.170	0.150
tr_SE_9775SUP	0.419	0.438	0.329	0.290	0.356	0.267	0.236
tr_SE_TDF9775-1	0.424	0.255	0.191	0.169	0.161	0.121	0.106
tr_SE_1195INF	0.224	0.183	0.137	0.121	0.183	0.137	0.121
tr_SE_TDF9340W	0.325	0.137	0.103	0.091	0.104	0.078	0.069
tr_SE_9340INF	0.414	0.255	0.191	0.169	0.207	0.155	0.137
tr_SE_RP1345	0.373	0.208	0.156	0.138	0.121	0.091	0.080
tr_SE_8948INT	0.360	0.359	0.269	0.237	0.281	0.210	0.186
tr_SE_1091	0.351	0.120	0.090	0.079	0.120	0.090	0.079
tr_SE_RP1091	0.442	0.239	0.179	0.158	0.197	0.148	0.130
tr_SE_1091(-)	0.336	0.208	0.156	0.137	0.111	0.083	0.073

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Tabla 07.
Cargas del Sistema Eléctrico Mina Marcapunta Norte

CARGA CONECTADA POR SUBESTACION							
CARGA (Código ETAP)	POTENCIA INSTALADA	MÁXIMA DEMANDA			MÍNIMA DEMANDA		
		MVA	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
SUPERFICIE							
load_SE_RB1 0.46	0.317	0.199	0.149	0.132	0.199	0.149	0.132
load_SE_RB1 0.23	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001
load_SE_RB3 0.46	0.817	0.373	0.280	0.247	0.196	0.147	0.130
load_SE_RB6(3) 0.46	0.319	0.205	0.154	0.135	0.205	0.154	0.135
load_SE_RB9 0.46	0.336	0.339	0.255	0.225	0.339	0.255	0.225
load_SE_RB9 0.23	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001
load_SE_MPN	0.229	0.184	0.138	0.122	0.184	0.138	0.122
load_SE_LAGSMELT 10.5	0.016	0.018	0.016	0.008	0.018	0.016	0.008
load_CAMPAMENTOS 10.5	0.394	0.364	0.328	0.159	0.364	0.328	0.159
load_TAJO 10.5	0.338	0.376	0.338	0.164	0.353	0.318	0.154
load_SE_BOCAMINA4635	0.169	0.200	0.150	0.132	0.200	0.150	0.132
MINA							
load_SE_312	0.460	0.377	0.283	0.250	0.377	0.283	0.250
load_SE_1092-2	0.429	0.277	0.208	0.183	0.227	0.170	0.150
load_SE_9775SUP	0.419	0.438	0.329	0.290	0.356	0.267	0.236
load_SE_TDF9775-1	0.424	0.255	0.191	0.169	0.161	0.121	0.106
load_SE_1195INF	0.224	0.183	0.137	0.121	0.183	0.137	0.121
load_SE_TDF9340W	0.325	0.137	0.103	0.091	0.104	0.078	0.069
load_SE_9340INF	0.414	0.255	0.191	0.169	0.207	0.155	0.137
load_SE_RP1345	0.373	0.208	0.156	0.138	0.121	0.091	0.080
load_SE_8948INT	0.360	0.359	0.269	0.237	0.281	0.210	0.186
load_SE_1091	0.351	0.120	0.090	0.079	0.120	0.090	0.079
load_SE_RP1091	0.442	0.239	0.179	0.158	0.197	0.148	0.130
load_SE_1091(-)	0.336	0.208	0.156	0.137	0.111	0.083	0.073
TOTAL	7.493	5.318	4.103	3.346	4.506	3.491	2.814

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Actualmente la demanda del Sistema Eléctrico Mina Marcapunta Norte de la S.M. El Brocal, oscila en un valor de 4.1 MW y 3.4 MVA_r (FdP = 0.83 aprox.) es atendida en su totalidad por el SEIN.

4.1.3. Situación Actual

El Sistema Eléctrico que actualmente soporta a mina subterránea denominada Marca Punta Norte es alimentado desde la Sub Estación Smelter que cuenta con un transformador de 4/5 MVA ONAN/ONAF cuya relación de transformación es de 50/10.5 KV, es trasladado a través de una terna de línea trifásica aérea soportados por postes de madera para así distribuir en diferentes puntos donde se encuentran instalados Sub Estaciones de Distribución, esta línea también alimenta otras cargas:

- SE Bombas de Tajo

- SE Taller G & M(Tajo)
- SE Pique Lumbrera
- SE Aguas Frescas
- SE Staff Brocal
- SE Campamentos G & M
- SE Campamentos Becarios
- SE Colquijirca

A. Análisis de flujo de potencia

a. Metodología y criterios

Las simulaciones de flujo de potencia nos permiten observar el comportamiento del sistema en estado estacionario determinándose los niveles de tensiones en las barras, la distribución de los flujos de potencia activa y reactiva en las líneas y transformadores de potencia.

De esta manera evaluar los resultados de los flujos de potencia que se haya considerado como criterio de análisis para la calidad y confiabilidad del sistema para satisfacer las condiciones recomendadas por la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos – NTCSE y “Alcances para el Desarrollo de Estudios de Pre Operatividad” del Procedimiento Técnico PR-20 (COES SINAC, 2013), los cuales son:

b. Niveles de tensiones admisibles en barra.

- Operación normal : $\pm 5\% V_n$
- Operación ante contingencias : $\pm 10\% V_n$

c. Cargas en líneas y transformadores.

- Líneas de Transmisión : 100% de su capacidad nominal.
- Transformadores de potencia : 100% de su potencia nominal.

Para la simulación de los flujos de potencia se ha considerado la siguiente información:

- Los casos de estudio fueron modelados en función a la información recabada en los trabajos de campo, así como la base de datos del “Estudio de Coordinación de Protección del Sistema Eléctrico Principal Existente - S.M El Brocal”, en formato ETAP (.oti), y a la información alcanzada por la supervisión de la S.M. El Brocal.
- Las simulaciones y cálculos fueron realizados en el software de sistemas de potencia ETAP PowerStation V7.0.

Se asumieron los siguientes datos de operación:

- Potencia Reactiva inyectada por los Bancos de Condensadores en los circuitos de baja tensión (4 subestaciones ubicadas en superficie; Marcapunta Norte, Laguna Smelter, RB1 y RB 6 en el Transformador de 550kVA).
- Potencia activa y reactiva despachado por las Centrales Hidroeléctricas de Jupayragra y Río Blanco en Avenida y Estiaje.
- Potencia activa y reactiva total del sistema eléctrico Marcapunta Norte coincidente con los datos registrados en campo en la Subestación Smelter; así como con los datos, entregados por la

supervisión del S.M. El Brocal, de energía consumida por dicho sistema registrado en la subestación mencionada.

B. Escenarios

En el caso de Flujos de Potencia, se ha considerado los escenarios en:

- Máxima Demanda
- Mínima Demanda

En este escenario se evalúa el sistema eléctrico bajo la topología radial de la red actual.

C. Resultados de perfil de tensión en barras

Los resultados de este análisis se presentan en el Anexo 02 en diagramas unifilares y reportes donde se muestran los flujos de carga bajo cada escenario simulado.

En las siguientes Tablas se muestran los resultados de perfil de tensión en barras, para los escenarios considerados.

Tabla 08.
Perfiles de Tensión

PERFILES DE TENSIÓN				
N°	BARRA Código ETAP	L-L Volt. Nom k V	SITUACIÓN ACTUAL	
			Máxima Demanda	Mínima Demanda
			Magnitud p.u.	Magnitud p.u.
SUPERFICIE				
1	SE_SMELTER_10.5	10.5	0.990	1.007
2	SE_MPN_10.5	10.5	0.983	1.002
3	SE_MPN_0.46	0.46	1.003	1.023
4	SE_LAGSMELT_10.5	10.5	0.965	0.987
5	SE_RB1_10.5	10.5	0.957	0.980
6	SE_RB3_10.5	10.5	0.964	0.986
7	SE_RB3_0.46	0.46	0.971	0.998
8	SE_RB6_10.5	10.5	0.953	0.977
9	SE_RB9_10.5	10.5	0.956	0.980
10	SE_BM4635_10.5	10.5	0.956	0.980
11	SE_RB12_10.5	10.5	0.956	0.980
MINA				
1	SE_312 4.2	4.2	0.951	0.988
2	SE_1090-2 4.2	4.2	0.948	0.985
3	SE_9775SUP 4.2	4.2	0.915	0.948
4	SE_TDF9775-1 4.2	4.2	0.914	0.947
5	SE_1195INF_4.2	4.2	0.911	0.945
6	SE_TDF9340W_4.2	4.2	0.908	0.942
7	SE_9340INF_4.2	4.2	0.907	0.942
8	RB8_CELDAMINA_4.2	4.2	0.934	0.976
9	SE RP1345_4.2	4.2	0.932	0.976
10	SE 8948INT_4.2	4.2	0.932	0.975
11	SE_1091_4.2	4.2	0.925	0.970
12	SE RP1091 4.2	4.2	0.922	0.968
13	SE 1091(-) 4.2	4.2	0.920	0.967

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

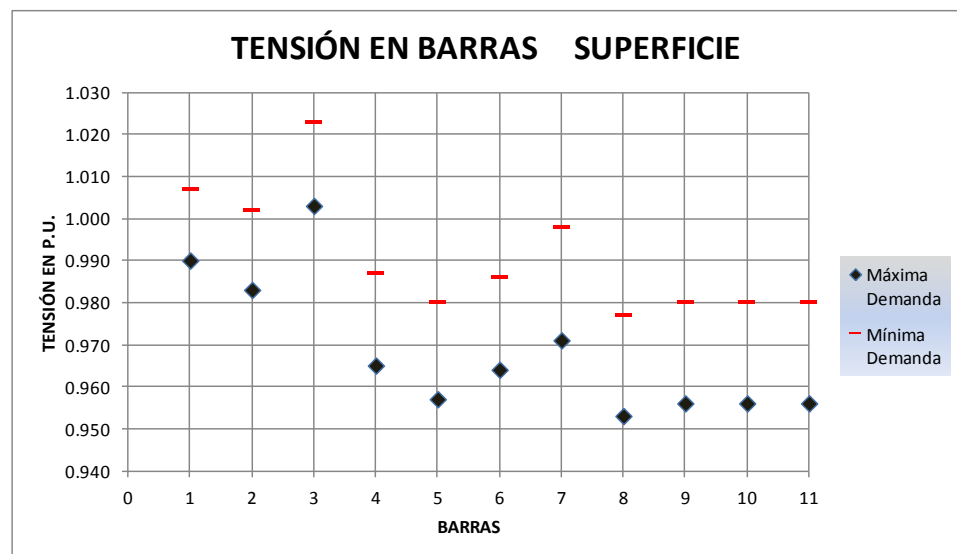


Figura 13. Perfiles de Tensión en Superficie
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

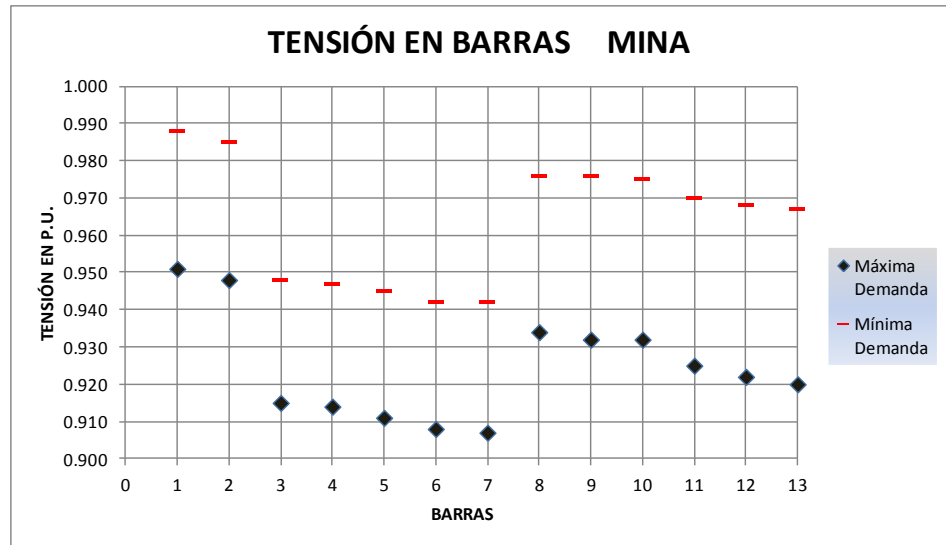


Figura 14. Perfiles de Tensión en Interior Mina
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Tal como se observa en la Tabla 08, los valores de tensión en las barras analizadas, para el caso de situación actual se encuentran fuera de los niveles de operación permisibles correspondientes al $\pm 5\% V_n$. Asimismo, en la mina, el valor de tensión de solo una de las 13 barras se encuentra dentro de los niveles permisibles y las demás están por debajo de dicho nivel.

D. Resultados de cargabilidad de las líneas y cables de energía

En las siguientes tablas se muestran los resultados de los niveles de cargabilidad de los conductores aéreos y cables de energía.

Tabla 09.
Cargabilidad de Líneas y Cables de Energía

PERFILES DE TENSIÓN		
BARRA Código ETAP	SITUACIÓN ACTUAL	
	Máxima Demanda	Mínima Demanda
	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %
SUPERFICIE		
lneSESMELTER-SEMPN_10.5	135	109
lneSEMPN-SELAGSMELT_10.5	114	92
lneSELAGSMELT-SERB3_10.5	114	92
lneSERB3-DRVRS 10.5	113	94
lneDRVRS-SERB1_10.5	11	11
lneSERB1-SERB9_10.5	8	8
lneSERB9-SERB12_10.5	0	0
lneDRVRS-DRVBM4635 10.5	13	13
lneDRV4635-SE4635 10.5	5	5
lneDRVRS-SERB6(I)_10.5	89	71
lneDRVRS-SERB6(II)_10.5	102	81
lneSERB6-DRVRS7_4.2	111	87
lneRB7 4.2	41	37
lneDRVRS7-RB8_4.2	71	50
lneSESMELTER-RB12_10.5	-	-
MINA		
lneRB7(I)-01 120mm	25	22
lneRB7(I)-02 120mm	10	8
lneRB7(I)-03_70mm	15	12
lneRB7(II)-01_120mm	49	38
lneRB7(II)-02 70mm	69	53
lneRB7(II)-03 70mm	14	9
lneRB7(II)-04_70mm	31	26
lneRB7(II)-05_70mm	21	16
lneRB7(II)-06_70mm	14	11
lneRB8-01 120mm	43	30
lneRB8-02_70mm	11	6
lneRB8-03_70mm	19	15
lneRB8-04_70mm	30	22
lneRB8-05 120mm	17	11
lneRB8-06 70mm	11	6
lneRB12-01_120mm	-	-

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

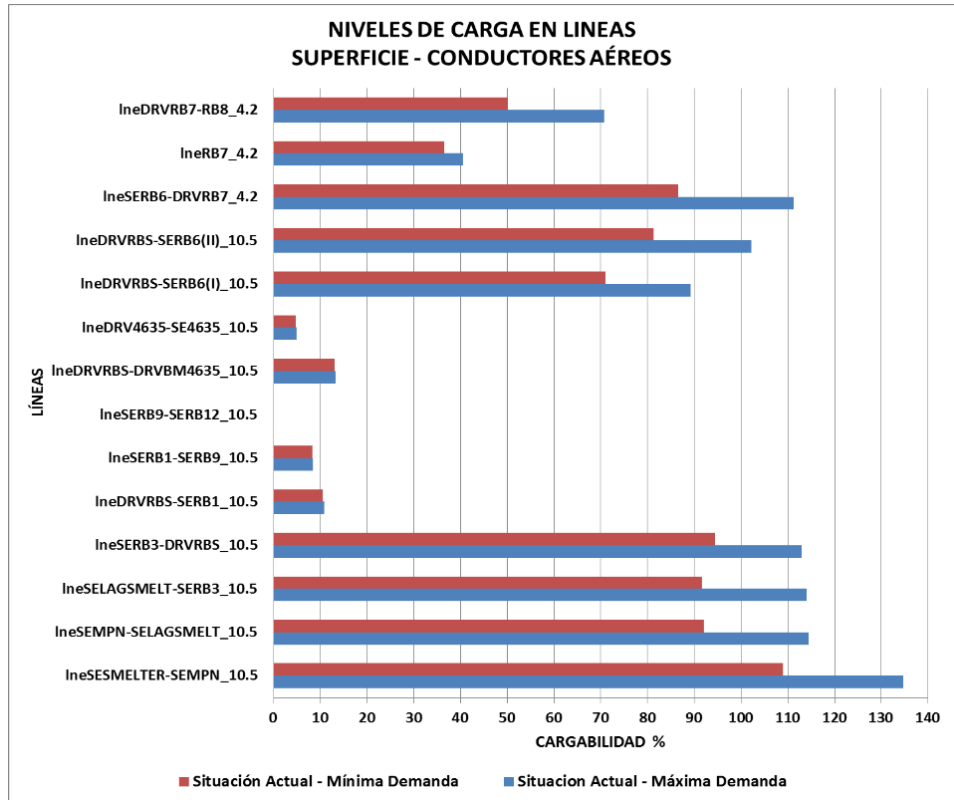


Figura 15. Niveles de Carga en Líneas Condición Normal – Superficie
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

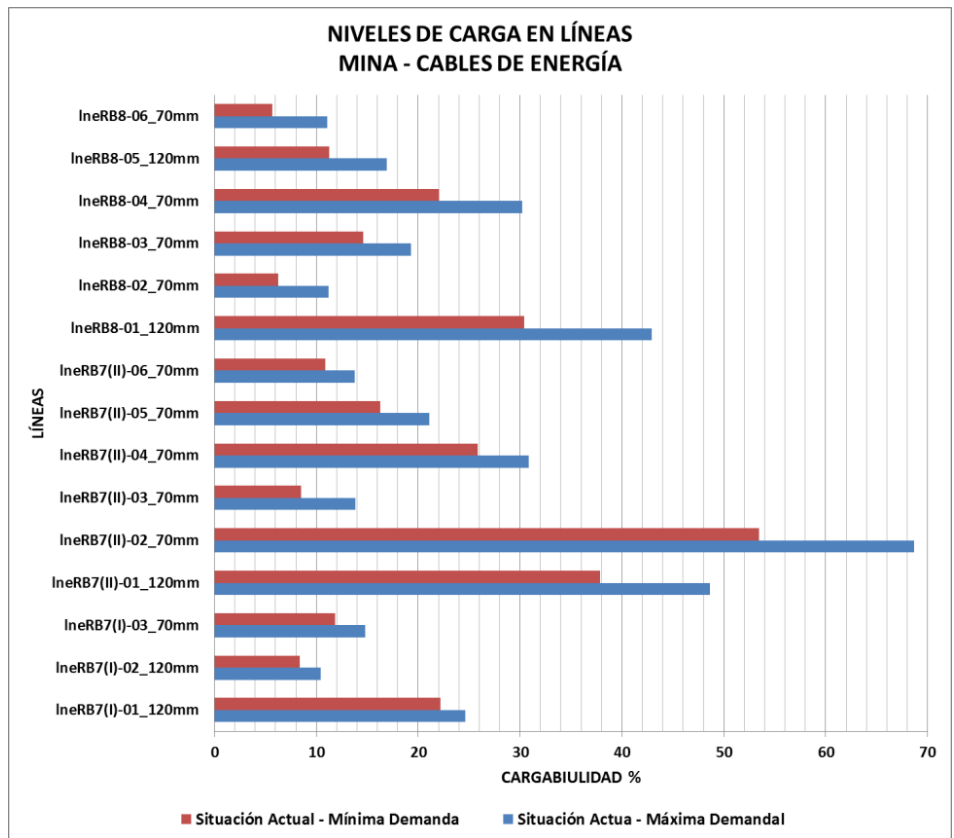


Figura 16. Niveles de Carga en Líneas Condición Normal – Interior Mina
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 09, los niveles de carga de algunos conductores aéreos y cables de energía se encuentran por encima de su capacidad nominal en el caso de situación actual, siendo la lne_SESMELT-SEMPN_10.5 la de mayor porcentaje de cargabilidad con un 135%.

E. Resultados de cargabilidad de los transformadores de potencia

En la Tabla 10, se muestran los resultados de los niveles de cargabilidad de los transformadores de potencia.

Tabla 10.
Cargabilidad de los Transformadores

PERFILES DE TENSIÓN		
BARRA Código ETAP	SITUACIÓN ACTUAL	
	Máxima Demanda	Mínima Demanda
	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %
SUPERFICIE		
tr_SMELTER	106	86
tr_SE_MPN	26	26
tr_SE_RB1(I)	31	32
tr_SE_RB1(II)	4	4
tr_SE_RB3	21	25
tr_SE_RB6(1)	96	76
tr_SE_RB6(2)	66	52
tr_SE_RB6(3)	31	32
tr_SE_RB9(I)	69	69
tr_SE_RB9(II)	4	4
tr_SE_RB12	-	-
MINA		
tr_SE_312	63	64
tr_SE_1090-2	47	39
tr_SE_9775SUP	70	58
tr_SE_TDF9775-1	40	26
tr_SE_1195INF	28	29
tr_SE_TDF9340W	21	16
tr_SE_9340INF	40	33
tr_SE_RP1345	35	21
tr_SE_8948INT	57	45
tr_SE_1091	20	20
tr_SE_RP1091	24	20
tr_SE_1091(-)	32	17

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

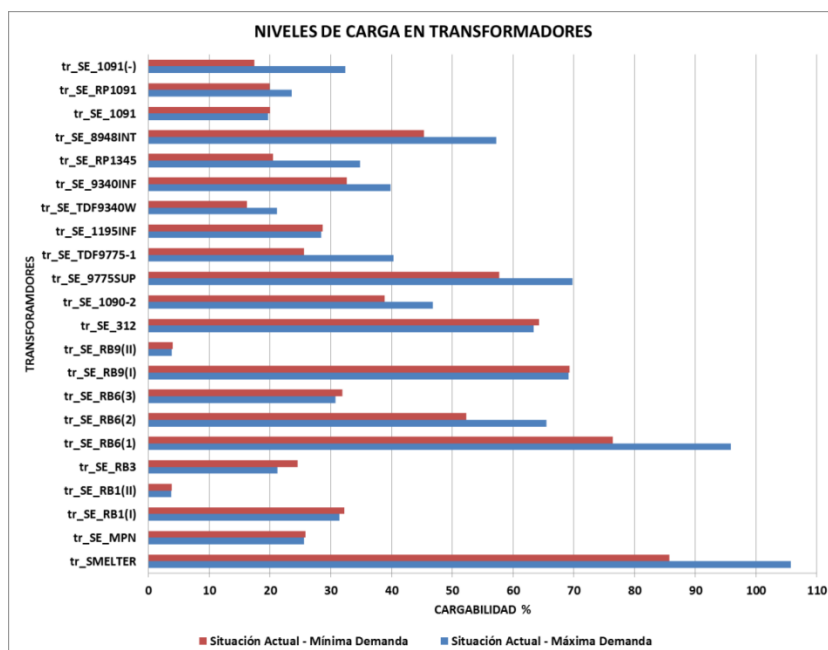


Figura 17. Cargabilidad de los Transformadores Condición Normal
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Tal como se muestra en la Tabla 10 y en la figura 17, los niveles de cargabilidad de los transformadores de potencia para el caso Situación Actual se encuentran por debajo de su valor nominal, excepto el transformador tr_SMELTER que precisamente es el que alimenta a todo el Sistema Eléctrico Mina Marcapunta Norte, se encuentran con un 6% por encima de su valor nominal. Por lo cual, podemos concluir que es necesaria la ampliación de capacidad de la Subestación Smelter; además de considerar que la demanda máxima utilizada para este estudio es solo el 55% de la potencia instalada total, y que ante la eventualidad de que se produzca un mayor factor de simultaneidad de las cargas el sistema eléctrico en estudio colapsara y causara daños en los equipos de este sistema.

4.1.4. Análisis De Corto Circuito

El presente análisis considera la evaluación de las corrientes de cortocircuito trifásica, monofásica y bifásica a tierra (corrientes de falla máxima

y mínima), considerándose para todos estos casos las **MÁXIMAS DEMANDAS** con una impedancia de falla igual a cero.

A. Metodología y criterios

- La evaluación de corriente de cortocircuito comprende el análisis de fallas trifásicas, monofásicas y bifásicas a tierra.
- La simulación de corrientes de cortocircuito fue realizada bajo el entorno del software ETAP Power Station V7.0, considerando la norma IEC 60909 – 2001, para lo cual se analizarán las corrientes de falla máximas y mínimas.
- *Corriente de cortocircuito máxima.* Para el cálculo de esta corriente se considera que la tensión en el punto de falla en el momento en que ocurre la falla es de 1.10 p.u. Este cálculo sirve de referencia para determinar la capacidad requerida de los equipos eléctricos.
- Asimismo, de acuerdo con el Procedimiento Técnico PR-20 (COES SINAC, 2013); establece los niveles mínimos de cortocircuito de diseño es de 40 kA, para transmisión. Por lo cual para distribución y a nivel industrial solo es necesario que los valores de corriente de cortocircuito de los equipos electromecánicos soporten y sean mayores que los valores obtenidos de estudio de cortocircuito realizado.

En este método se desprecian las impedancias de carga y la corriente prefalla, en los generadores y motores se asume igual a cero; asimismo se omiten las admitancias shunts (efecto capacitivo de líneas y cables) de la red de secuencia positiva pero estas admitancias shunt si se consideran para

la red de secuencia cero. Asimismo, sólo se consideran las impedancias subtransitorias de los generadores y motores, no se utilizan las impedancias transitorias.

Los resultados de los Cálculos de Cortocircuito se presentan en diagramas unifilares similares a los empleados para presentar los flujos de carga del Análisis de Estado Estacionario, y contienen, para cada tipo de falla, el valor de la **corriente simétrica inicial de cortocircuito (I_K'')**, la cual es el **valor rms** de la componente simétrica de la corriente de cortocircuito esperada y que aparece en el instante de la falla, si la impedancia permanece en el valor que tiene en el tiempo cero. También se presenta la **potencia aparente inicial simétrica (S_K'')** que corresponde a la siguiente expresión:

$$S_K'' = \sqrt{3} * U_n * I_K''$$

B. Análisis de resultados

Los resultados de este análisis se presentan en el Anexo 03 que consiste en reportes y diagramas unifilares que muestran los resultados del Análisis de Cortocircuito. De la evaluación de corto circuito del sistema eléctrico en estudio, se muestran a continuación en tablas y figuras que resumen los resultados.

Tabla 11.
Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Superficie

MÁXIMAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO							
N°	BARRA Código ETAP	L-L Volt. Nom kV	Corriente de Cortocircuito		SITUACIÓN ACTUAL		
			Máxima Demanda				
			Máx. (kA)	Mín. (kA)	3Ø (kA)	1Ø (kA)	2ØT (kA)
SUPERFICIE							
1	SE_SMELTER_50	50.0	3.9	3.5	3.9	3.5	3.8
2	SE_SMELTER_10.5	10.5	3.9	3.3	3.9	0.0	3.3
3	SE_MPN_10.5	10.5	3.8	3.3	3.8	0.0	3.3
4	SE_MPN_0.46	0.5	14.2	13.9	13.9	14.2	14.1
5	SE_RB1_10.5	10.5	3.3	2.8	3.3	0.0	2.8
6	SE_RB1_0.46	0.5	12.2	12.1	12.1	12.2	12.2
7	SE_RB3_10.5	10.5	3.5	3.0	3.5	0.0	3.0
8	SE_RB3_0.46	0.5	33.8	29.3	33.8	0.0	29.3
9	SE_RB6_10.5	10.5	3.3	2.9	3.3	0.0	2.9
10	SE_RB6(1)_4.2	4.2	4.5	4.2	4.2	4.5	4.5
11	SE_RB6(2)_4.2	4.2	4.2	3.8	3.8	4.2	4.2
12	SE_RB6(3)_0.46	0.5	16.9	16.2	16.2	16.9	16.7
13	SE_RB9_10.5	10.5	3.2	2.7	3.2	0.0	2.7
14	SE_BM4635_10.5	10.5	3.0	2.6	3.0	0.0	2.6
15	SE_BM4635_0.46	0.5	17.7	16.7	16.7	17.7	17.5
16	SE_RB12_10.5	10.5	2.8	2.4	2.8	0.0	2.4
17	SE_RB12_4.2	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Asimismo, la subestación Smelter en 10.5 kV, presenta un valor de corriente de falla trifásica de 3.91 kA.

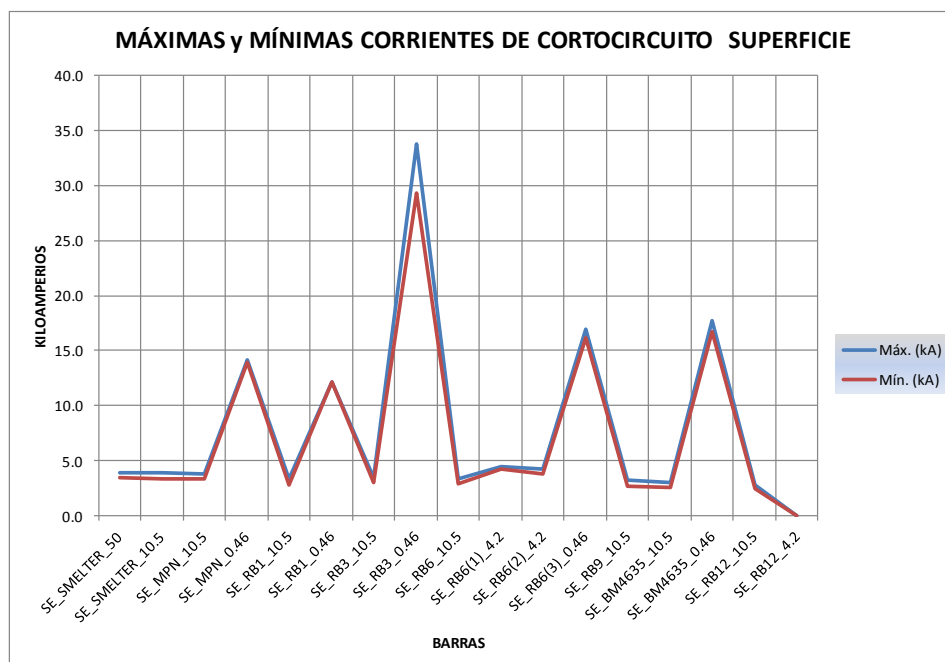


Figura 18. Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Superficie
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Tabla 12.
Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Mina

MÁXIMAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO							
N°	BARRA Código ETAP	L-L Volt. Nom kV	Corriente de Cortocircuito		SITUACIÓN ACTUAL		
			Máx. (kA)	Mín. (kA)	Máxima Demanda		
MINA							
			3Ø (kA)	1Ø (kA)	2ØT (kA)		
1	SE_312_4.2	4.2	3.9	3.4	3.9	3.4	3.8
2	SE_312_0.46	0.46	16.2	14.8	14.8	16.2	15.9
3	SE_1090-2_4.2	4.2	3.4	2.3	3.4	2.3	3.2
4	SE_1090-2_0.46	0.46	15.4	13.7	13.7	15.4	15.2
5	SE_9775SUP_4.2	4.2	3.8	3.3	3.7	3.3	3.8
6	SE_9775SUP_0.46	0.46	16.7	15.3	15.3	16.7	16.3
7	SE_TDF9775-1_4.2	4.2	3.6	3.1	3.6	3.1	3.6
8	SE_TDF9775-1_0.46	0.46	15.8	14.2	14.2	15.8	15.4
9	SE_1195INF_4.2	4.2	3.5	2.5	3.5	2.5	3.4
10	SE_1195INF_0.48	0.48	13.3	11.9	11.9	13.3	13.0
11	SE_TDF9340W_4.2	4.2	3.2	1.9	3.2	1.9	3.0
12	SE_TDF9340W_0.48	0.48	12.8	11.3	11.3	12.8	12.6
13	SE_9340INF_4.2	4.2	3.1	1.9	3.1	1.9	2.9
14	SE_9340INF_0.46	0.46	15.1	13.3	13.3	15.1	14.8
15	RB8_CELDAMINA_4.2	4.2	3.4	2.6	3.4	2.6	3.1
16	SE_RP1345_4.2	4.2	3.1	2.1	3.1	2.1	2.8
17	SE_RP1345_0.46	0.46	14.7	13	13.0	14.7	14.5
18	SE_8948INT_4.2	4.2	3.1	2.1	3.1	2.1	2.9
19	SE_8948INT_0.46	0.46	15.7	14	14.0	15.7	15.5
20	SE_1091_4.2	4.2	2.9	1.7	2.9	1.7	2.6
21	SE_1091_0.46	0.46	13.9	12	12.0	13.9	13.8
22	SE_RP1091_4.2	4.2	2.7	1.4	2.7	1.4	2.4
23	SE_RP1091_0.46	0.46	17.6	14.5	14.5	17.4	17.6
24	SE_1091(-)_4.2	4.2	2.5	1.2	2.5	1.2	2.2
25	SE_1091(-)_0.48	0.48	12.4	10.8	10.8	12.4	12.4

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

De acuerdo con las tablas y figuras mostrados, se observa que el valor de corriente de falla trifásica en la barra SE_RP1091_0.46 es de 14.5 kA.

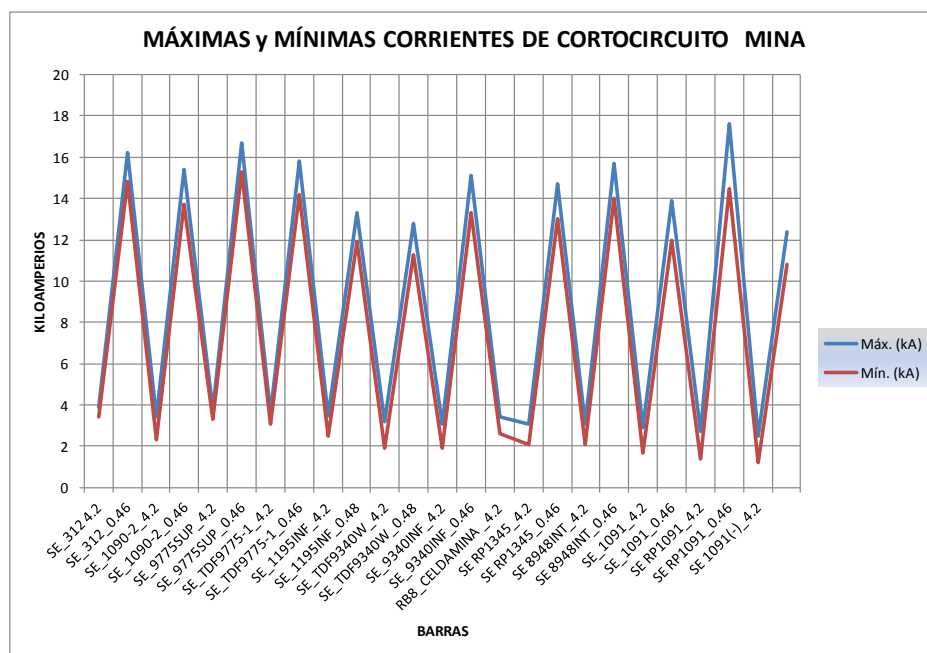


Figura 19. Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Mina
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Con respecto a las corrientes de fallas monofásicas que son las de mayor porcentaje de ocurrencia en un sistema eléctrico; las barra SE_RP1091_0.46 presenta el valor de 17.4 kA.

Asimismo, el sistema eléctrico El Brocal no cuenta con grupos de generación importante, convirtiendo al SEIN en su principal aportante o fuente de corriente de corto circuito (I_{cc}).

4.2. Reforzamiento de sistema eléctrico mina

4.2.1. Consideraciones

- Se ha considerado el despacho de las Centrales Hidroeléctricas de Jupayragra y Río Blanco en todo escenario de estudio.
- Se considera Fuera de Servicio al Banco de Condensadores en el lado de 50kV para todo el escenario de estudio.
- Para todos los casos en los que se señala que se simulan con banco de capacitores, tales bancos de capacitores son los siguientes:

Tabla 13.

Lista de Bancos de Capacitores Adicionados para la Simulación en el Sistema Eléctrico Mina Marcapunta Norte

BANCO DE CAPACITORES ADICIONADOS			
BANCO DE CONDENSADORES (Código ETAP)	POTENCIA	TENSIÓN NOMINAL	UBICACIÓN
	KVAR	(kV)	
ADICIONALES			
bc_RB7(I)	300	0.46	SE 312
bc_RB7(II)	300	0.46	SE 9775SUP
bc_RB8	300	0.46	SE RP1345
bc_BOCAMINA4635	500	0.46	SE BOCAMINA4635

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

4.2.2. Escenario

Se consideran los siguientes escenarios:

- Máxima Demanda sin Banco de Capacitores
- Máxima Demanda con Banco de Capacitores
- Potencia Instalada con Banco de Capacitores

En este escenario se evalúa el sistema eléctrico bajo la topología de la red actual, *EN ADICIÓN CON LAS SIGUIENTES CONSIDERACIONES:*

- Cambio de conductor de la línea en 10.5 desde la salida de la Subestación Smelter hasta la estructura (poste con doble derivación), aguas abajo, donde se encuentra las derivaciones hacia RB6 y RB1, este reforzamiento comprende un cambio de conductores de cobre de 35 mm² de sección y aluminio AAAC de 70 mm² de sección actuales, por conductores de Aluminio (AAAC) de 95mm² de sección.
- Cambio de conductor de la línea en 10.5 (IneDRVRBS-SERB6TRAM2_10.5), comprendida entre la subestación RB6 y el poste que se encuentra a la altura del RB7, este reforzamiento comprende un cambio de conductores de cobre de 35mm² de sección que actualmente se tiene por conductores de aluminio (AAAC) de 70mm² de sección.
- Instalación de un transformador (tr_SE_RB12) de 2.0 MVA, 10.5/4.2 kV en la SE RB12.
- Instalación de la línea en 4.2 kV (IneRB12-01_120mm) con cables de energía de 120mm² de sección, comprendida entre la barra SE_RB12_4.2 (salida del transformador tr_SE_RB12) y la barra SE_RP1091_4.2 (llegada al transformador tr_SE_RP1091).

4.2.3. Análisis de Flujo de Potencia

A continuación, se presentan tablas y figuras que resumen los resultados y el análisis correspondiente a flujos de potencia.

A. Resultados de perfil de tensión en barras

En las siguientes tablas se muestran los resultados de perfil de tensión en barras, para los escenarios considerados.

Tabla 14.
Perfiles de Tensión Sistema Reforzado

PERFILES DE TENSION					
N°	BARRA Código ETAP	L-L Volt. Nom kV	SISTEMA REFORZADO		
			Máxima Demanda		Potencia Instalada
			Sin BC's Magnitud p.u.	Con BC's Magnitud p.u.	Con BC's Magnitud p.u.
SUPERFICIE					
1	SE_SMELTER_10.5	10.5	0.995	1.024	1.033
2	SE_MPN_10.5	10.5	0.988	1.019	1.021
3	SE_MPN_0.46	0.46	1.018	1.041	1.035
4	SE_LAGSMELT_10.5	10.5	0.971	1.003	0.991
5	SE_RB1_10.5	10.5	0.962	0.995	0.976
6	SE_RB3_10.5	10.5	0.97	1.002	0.989
7	SE_RB3_0.46	0.46	1.003	1.011	1.035
8	SE_RB6_10.5	10.5	0.961	0.994	0.975
9	SE_RB9_10.5	10.5	0.96	0.994	0.974
10	SE_BM4635_10.5	10.5	0.962	0.996	0.979
11	SE_RB12_10.5	10.5	0.957	0.992	0.967
MINA					
1	SE_312 4.2	4.2	0.991	1.010	1.000
2	SE_1090-2 4.2	4.2	0.989	1.007	0.995
3	SE_9775SUP 4.2	4.2	0.974	0.993	0.964
4	SE_TDF9775-1 4.2	4.2	0.974	0.993	0.963
5	SE_1195INF_4.2	4.2	0.971	0.990	0.956
6	SE_TDF9340W_4.2	4.2	0.968	0.987	0.948
7	SE_9340INF_4.2	4.2	0.967	0.986	0.947
8	RB8_CELDAMINA_4.2	4.2	0.961	0.992	0.909
9	SERP1345_4.2	4.2	0.960	0.991	0.907
10	SE 8948INT_4.2	4.2	0.959	0.989	0.906
11	SE_1091_4.2	4.2	0.970	0.998	0.924
12	SERP1091 4.2	4.2	0.975	1.001	0.932
13	SE 1091(-) 4.2	4.2	0.973	1.000	0.929

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

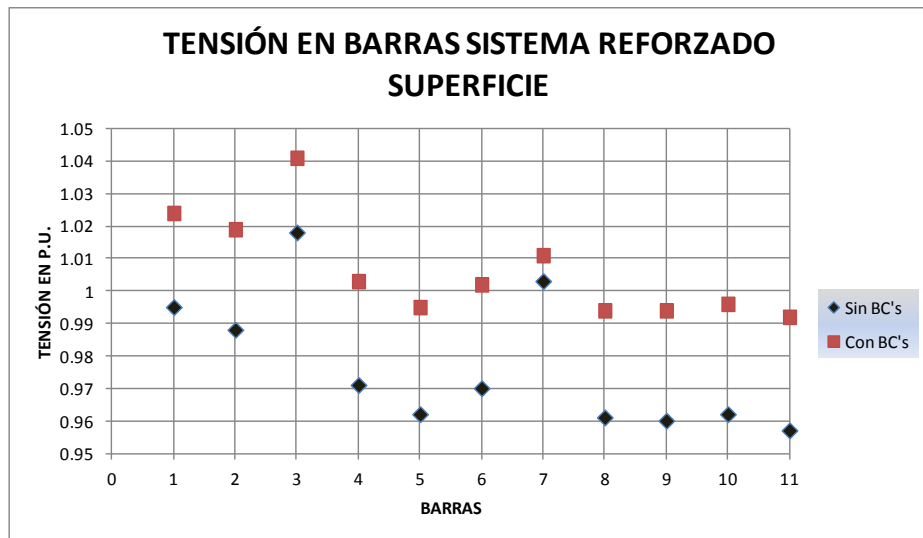


Figura 20. Perfiles de Tensión Sistema Reforzado en Superficie
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

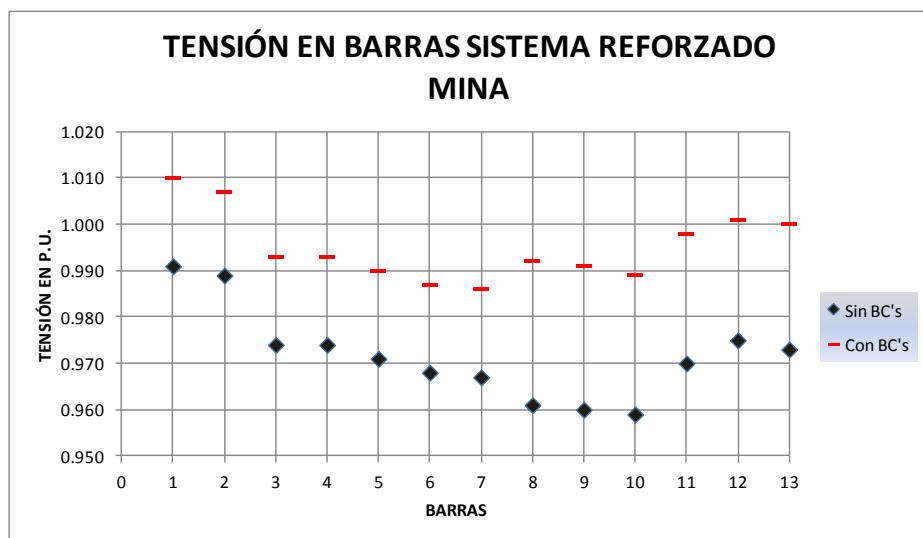


Figura 21. Perfiles de Tensión Sistema Reforzado Interior Mina
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Tal como se observa en la Tabla 14 y las figuras 20 y 21, los valores de tensión en las barras puestas en simulación, para el sistema reforzado se encuentran dentro de los niveles permisibles contemplados en la NTCSE (Osinergmin).

B. Resultados de cargabilidad de las líneas y cables de energía

En las siguientes tablas se muestran los resultados de los niveles de cargabilidad de los conductores aéreos y cables de energía.

Tabla 15.
Cargabilidad de Líneas y Cables de Energía Sistema Reforzado

PERFILES DE TENSIÓN			
BARRA Código ETAP	SISTEMA REFORZADO		
	Máxima Demanda		Potencia Instalada
	Sin BC's	Con BC's	Con BC's
	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %
SUPERFICIE			
lneSESMELTER-SEMPN_10.5	100	86	175
lneSEMPN-SELAGSMELT_10.5	98	97	172
lneSELAGSMELT-SERB3_10.5	98	96	172
lneSERB3-DRVRBS_10.5	97	92	156
lneDRVRBS-SERB1_10.5	39	32	73
lneSERB1-SERB9_10.5	38	29	69
lneSERB9-SERB12_10.5	29	22	57
lneDRVRBS-DRVBM4635_10.5	13	11	13
lneDRV4635-SE4635_10.5	5	6	5
lneDRVRBS-SERB6(I)_10.5	59	50	96
lneDRVRBS-SERB6(II)_10.5	59	50	96
lneSERB6-DRVRB7_4.2	39	30	61
lneRB7_4.2	39	30	61
lneDRVRB7-RB8_4.2	-	-	-
lneSESMELTER-RB12_10.5	-	-	-
MINA			
lneRB7(I)-01_120mm	24	18	37
lneRB7(I)-02_120mm	10	10	21
lneRB7(I)-03_70mm	14	14	30
lneRB7(II)-01_120mm	47	40	84
lneRB7(II)-02_70mm	66	56	118
lneRB7(II)-03_70mm	13	13	30
lneRB7(II)-04_70mm	30	30	69
lneRB7(II)-05_70mm	21	20	53
lneRB7(II)-06_70mm	13	13	30
lneRB8-01_120mm	-	-	-
lneRB8-02_70mm	11	21	22
lneRB8-03_70mm	19	19	27
lneRB8-04_70mm	30	23	41
lneRB8-05_120mm	26	19	46
lneRB8-06_70mm	11	11	24
lneRB12-01_120mm	42	32	85

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

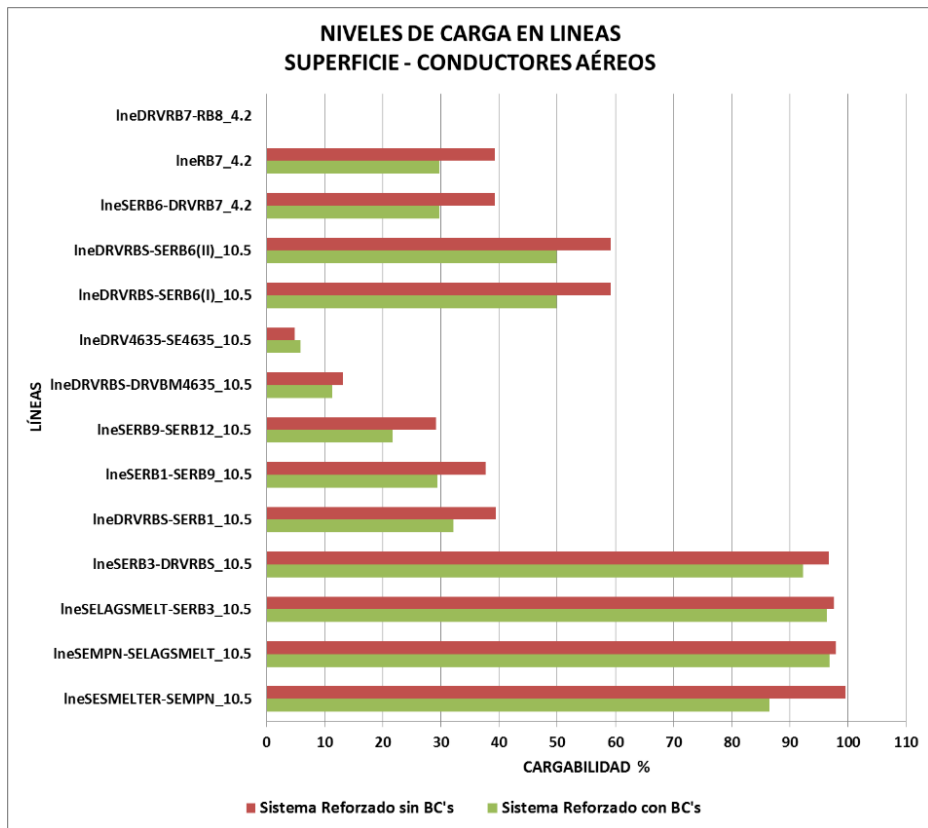


Figura 22. Niveles de Carga en Líneas Sistema Reforzado- Superficie
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

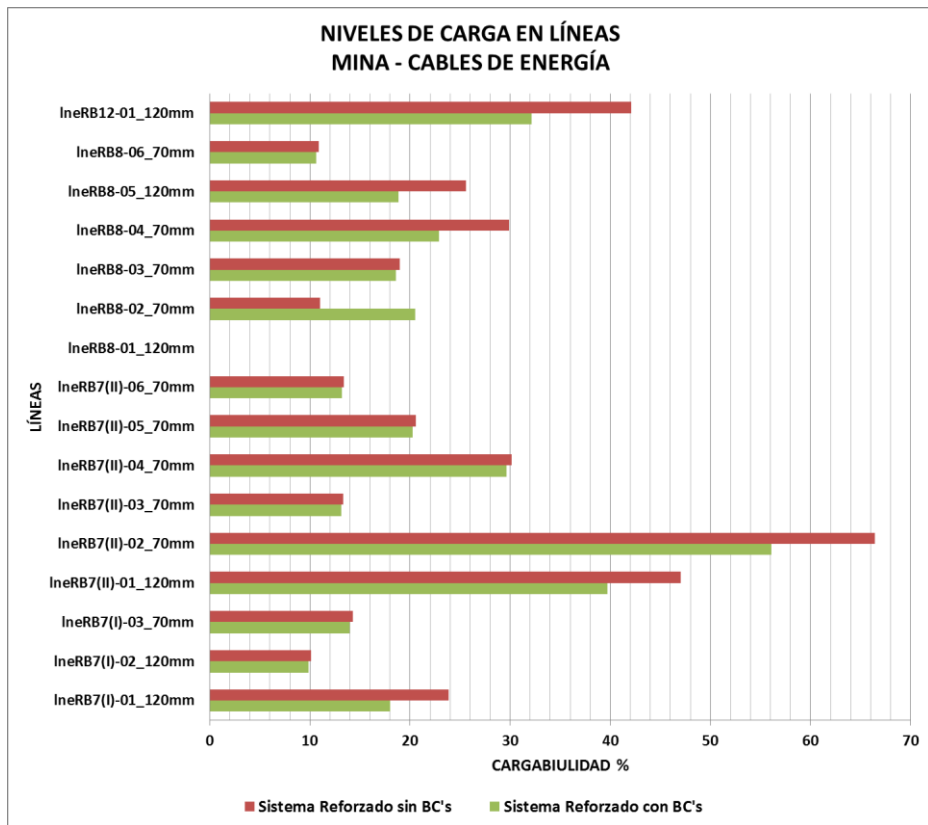


Figura 23. Niveles de Carga en Líneas Sistema Reforzado – Interior Mina
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Se observa que aun, habiendo incrementado el calibre de algunos tramos del alimentador principal, la línea lne_SESMELT-SEMP N_10.5 registra un valor de cargabilidad de 100% sin banco de capacitores y con la implementación de banco de capacitores su valor es de 86%, de esta manera se ve el efecto de la compensación en la cargabilidad de las líneas.

C. Resultados de cargabilidad de los transformadores de potencia

En la Tabla 15 se muestran los resultados de los niveles de cargabilidad de los transformadores de potencia.

Tabla 16.
Cargabilidad de los Transformadores Sistema Reforzado

PERFILES DE TENSIÓN			
BARRA Código ETAP	SISTEMA REFORZADO		
	Máxima Demanda		Potencia Instalada
	Sin BC's	Con BC's	Con BC's
	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %
SUPERFICIE			
tr_SMELTER	104	90	77
tr_SE_MPN	30	26	59
tr_SE_RB1(I)	33	33	70
tr_SE_RB1(II)	4	4	4
tr_SE_RB3	23	23	42
tr_SE_RB6(1)	34	26	54
tr_SE_RB6(2)	67	57	122
tr_SE_RB6(3)	34	33	61
tr_SE_RB9(I)	69	70	92
tr_SE_RB9(II)	4	4	4
tr_SE_RB12	60	46	119
MINA			
tr_SE_312	64	48	80
tr_SE_1090-2	47	47	99
tr_SE_9775SUP	71	53	68
tr_SE_TDF9775-1	41	42	92
tr_SE_1195INF	30	30	48
tr_SE_TDF9340W	22	22	70
tr_SE_9340INF	41	41	89
tr_SE_RP1345	35	69	66
tr_SE_8948INT	58	59	76
tr_SE_1091	20	20	79
tr_SE_RP1091	24	24	60
tr_SE_1091(-)	34	34	72

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

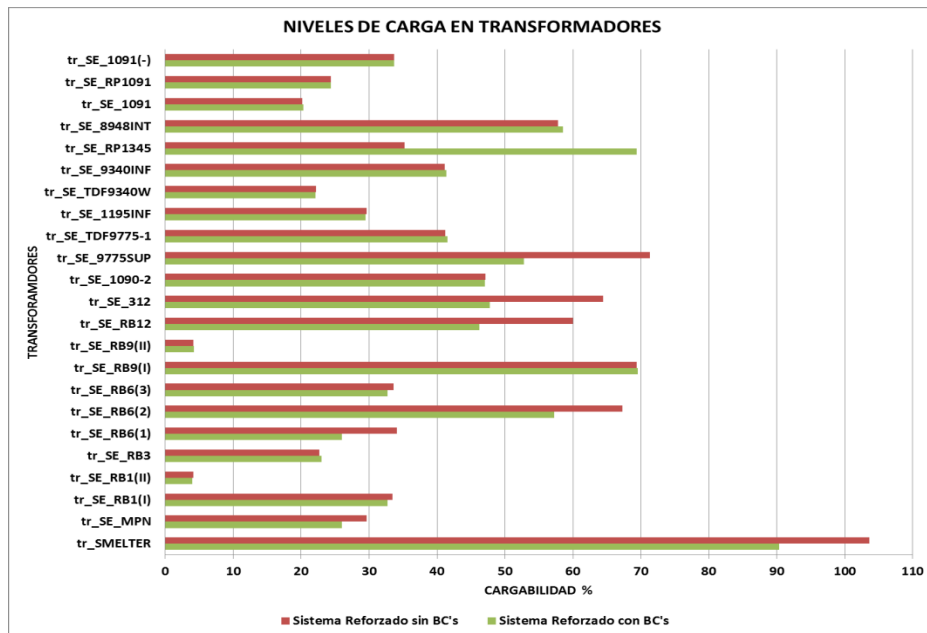


Figura 24. Cargabilidad de los Transformadores Sistema Reforzado
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Tal como se muestra en la Tabla 15 y en las figuras posteriores, el transformador tr_SMELTER que precisamente es el que alimenta a todo el Sistema Eléctrico Mina Marcapunta Norte, presenta una cargabilidad de 104%; y con la implementación de los bancos de capacitores se reduce el porcentaje a un 90%.

Del mismo modo se presentan las siguientes conclusiones con referencia al reforzamiento del Sistema Eléctrico Radial Mina:

- Para este caso se realiza un reforzamiento de las líneas que consiste en el cambio de calibre de los conductores aéreos de todas las líneas que en el caso de situación actual presentan un nivel de carga mayor a su valor nominal, excepto la lne_SERB6-DRVRB7_4.2.
- Para reducir los niveles de cargabilidad del transformador tr_SERB6(I) y la línea lne_SERB6-DRVRB7_4.2, se propone instalar un transformador 2.0 MVA en la Subestación RB12, con similares

características de las que se tienen en la Subestación RB6, esto implica también el tendido de la línea lne_RB12-01_120mm con cable de energía tripolar de cobre de 120mm² de sección de la Subestación RB12 en superficie hacia el interior de la mina a través del Raise Borer 12 hasta llegar a una celda en el interior de la mina cercana o en la misma Subestación RP1091, esto también involucra sacar de servicio la línea existente lne_RB8-01_120mm; a través de un interruptor u otro medio. *Se ha considerado esta ubicación como las óptima; primero, por la mejora de los niveles de tensión y cargabilidad de los equipos al implementarse esta propuesta; segundo, por la repercusión que significaría a futuro ya que como se puede observar es el punto más cercano al “Proyecto de Comunicación entre las Minas Marcapunta Norte y Oeste” y desarrollo de labores en Mina Subterránea (Tajeos).*

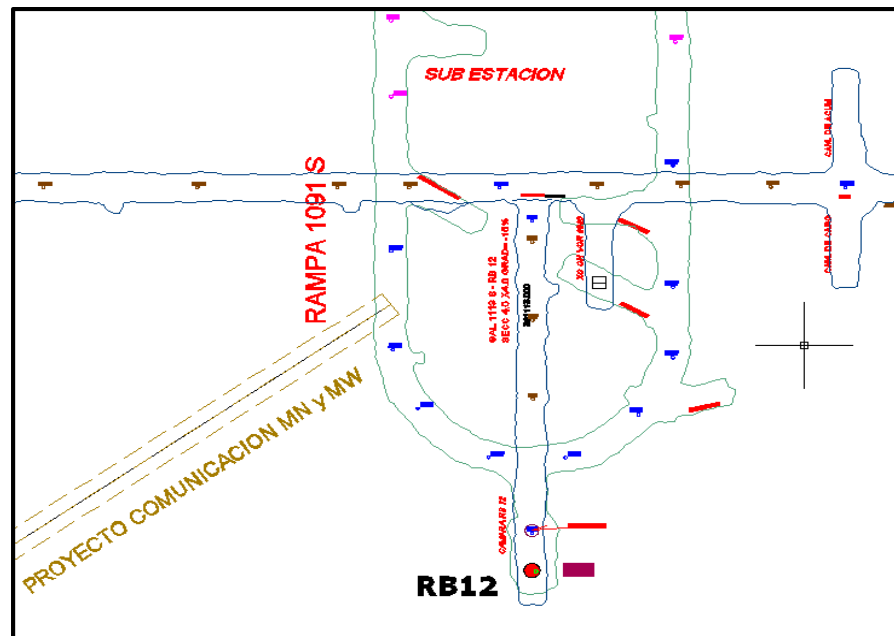


Figura 25. Ubicación S.E. RB-12 propuesta de implementación de línea en 4.16 kV en Interior Mina
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

- Con las implementaciones señaladas en los párrafos anteriores; si bien es cierto, en una primera instancia sin los Bancos de Capacitores se logra establecer niveles de carga de las líneas por debajo del máximo permisible y valores de tensión dentro de los límites permisibles también, el transformador tr_SMELTER, presenta una cargabilidad mayor al nominal por el bajo factor de potencia de la carga (FdP = 0.83 aprox.); además, los niveles de tensión se encuentran cercanos al valor mínimo permisible. *Los niveles de tensión se mejoran notablemente con la implementación de los Bancos de Capacitores, y reducción de la cargabilidad líneas y transformadores dentro de los límites permisibles. Siendo recomendable la implementación de los Bancos de Capacitores.*
- La operación en sistema radial con tan solo 01 alimentador ocasiona interrupciones totales, punto débil a destacar en este sistema. Se recomienda una solución con mejores resultados desde el punto de vista técnico.

4.2.4. Análisis de resultado de corto circuito

De la evaluación de corto circuito del sistema eléctrico en estudio, se muestran a continuación las tablas y figuras que resumen los resultados.

Tabla 17.
Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Sistema Reforzado Superficie

MÁXIMAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO							
N°	BARRA Código ETAP	L-L Volt. Nom k V	Corriente de Cortocircuito		SISTEMA REFORZADO		
			Máxima Demanda				
			Máx. (kA)	Mín. (kA)	3Ø (kA)	1Ø (kA)	2ØT (kA)
SUPERFICIE							
1	SE_SMELTER_50	50.0	3.9	3.5	3.9	3.5	3.8
2	SE_SMELTER_10.5	10.5	3.9	3.4	3.9	0.0	3.4
3	SE_MPN_10.5	10.5	3.8	3.3	3.8	0.0	3.3
4	SE_MPN_0.46	0.5	14.3	13.9	13.9	14.3	14.1
5	SE_RB1_10.5	10.5	3.4	2.9	3.4	0.0	2.9
6	SE_RB1_0.46	0.5	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2
7	SE_RB3_10.5	10.5	3.6	3.1	3.6	0.0	3.1
8	SE_RB3_0.46	0.5	34.0	29.5	34.0	0.0	29.5
9	SE_RB6_10.5	10.5	3.4	2.9	3.4	0.0	2.9
10	SE_RB6(1)_4.2	4.2	4.0	3.6	3.6	4.0	3.9
11	SE_RB6(2)_4.2	4.2	4.2	3.9	3.9	4.2	4.2
12	SE_RB6(3)_0.46	0.5	16.9	16.2	16.2	16.9	16.7
13	SE_RB9_10.5	10.5	3.3	2.8	3.3	0.0	2.8
14	SE_BM4635_10.5	10.5	3.0	2.6	3.0	0.0	2.6
15	SE_BM4635_0.46	0.5	17.7	16.8	16.8	17.7	17.5
16	SE_RB12_10.5	10.5	3.0	2.6	3.0	0.0	2.6
17	SE_RB12_4.2	4.2	4.0	3.7	3.7	4.0	4.0

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

La subestación Smelter en 10.5 kV, la más importante para el sistema en estudio, no sufre una variación significativa en la Situación Actual el valor de corriente de falla trifásica es de 3.91 kA y para el Sistema Reforzado es de 3.91 kA.

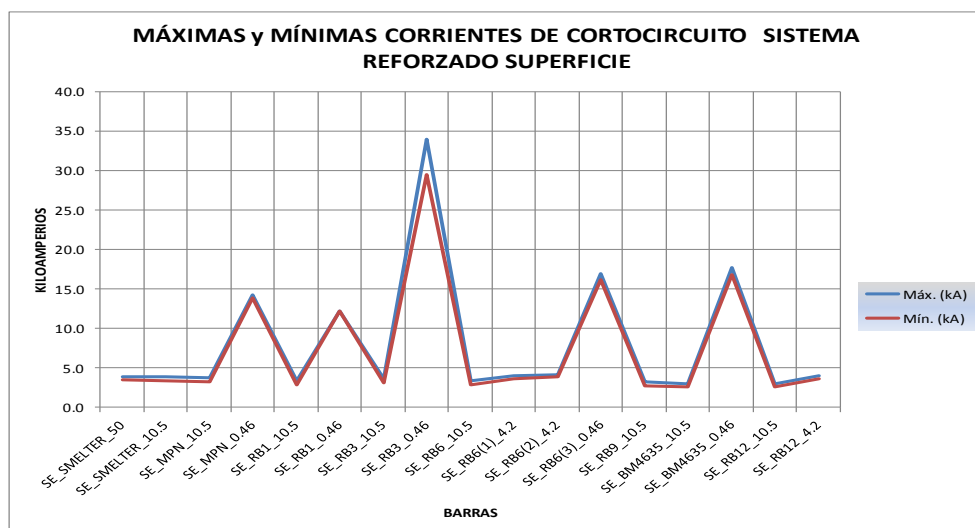


Figura 26. Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Sistema Reforzado Superficie
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Tabla 18.
Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Sistema Reforzado Mina

MÁXIMAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO							
N°	BARRA Código ETAP	L-L Volt. Nom kV	Corriente de Cortocircuito		SISTEMA REFORZADO		
			Máx. (kA)	Mín. (kA)	Máxima Demanda		
MINA							
			3Ø (kA)	1Ø (kA)	2ØT (kA)		
1	SE_312_4.2	4.2	3.30	3.10	3.30	3.10	3.30
2	SE_312_0.46	0.46	15.60	14.00	14.00	15.60	15.10
3	SE_1090-2_4.2	4.2	3.00	2.20	3.00	2.20	2.90
4	SE_1090-2_0.46	0.46	14.70	13.00	13.00	14.70	14.40
5	SE_9775SUP_4.2	4.2	3.80	3.30	3.70	3.30	3.80
6	SE_9775SUP_0.46	0.46	16.70	15.30	15.30	16.70	16.30
7	SE_TDF9775-1_4.2	4.2	3.70	3.10	3.70	3.10	3.70
8	SE_TDF9775-1_0.46	0.46	15.80	14.20	14.20	15.80	15.40
9	SE_1195INF_4.2	4.2	3.50	2.50	3.50	2.50	3.40
10	SE_1195INF_0.48	0.48	13.30	12.00	12.00	13.30	13.00
11	SE_TDF9340W_4.2	4.2	3.20	2.00	3.20	2.00	3.00
12	SE_TDF9340W_0.48	0.48	12.80	11.40	11.40	12.80	12.60
13	SE_9340INF_4.2	4.2	3.10	1.90	3.10	1.90	2.90
14	SE_9340INF_0.46	0.46	15.10	13.30	13.30	15.10	14.90
15	RB8_CELDAMINA_4.2	4.2	2.80	1.60	2.80	1.60	2.60
16	SE RP1345_4.2	4.2	2.60	1.40	2.60	1.40	2.40
17	SE RP1345_0.46	0.46	14.00	12.10	12.10	14.00	14.00
18	SE 8948INT_4.2	4.2	2.60	1.40	2.60	1.40	2.40
19	SE 8948INT_0.46	0.46	15.00	13.10	13.10	15.00	14.90
20	SE_1091_4.2	4.2	3.30	2.40	3.30	2.40	3.20
21	SE_1091_0.46	0.46	14.40	12.60	12.60	14.40	14.00
22	SE RP1091_4.2	4.2	3.60	3.20	3.50	3.20	3.60
23	SE RP1091_0.46	0.46	19.10	16.30	16.30	19.10	18.60
24	SE 1091(-)_4.2	4.2	3.20	2.50	3.20	2.50	3.20
25	SE 1091(-)_0.48	0.48	13.20	11.90	11.90	13.20	13.00

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Se observa que los valores de corriente de falla trifásica en la barra SE_RP1091_0.46 que de 14.5 kA en Situación Actual (ver tabla 12) se incrementa hasta 16.3 kA para el Sistema Reforzado (ver tabla 18).

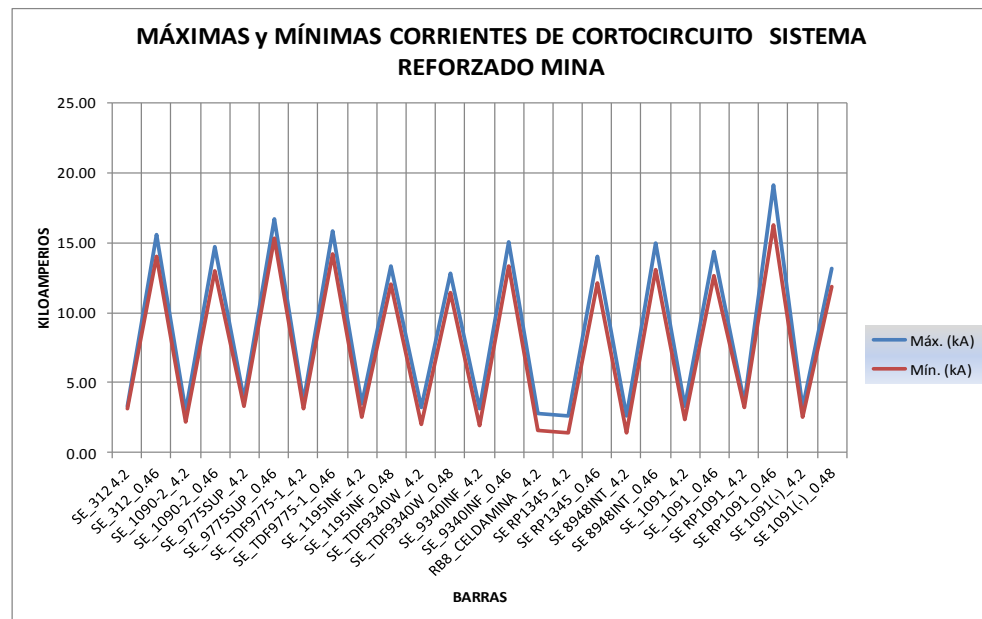


Figura 27. Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Sistema Reforzado Mina
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

4.3. Sistema eléctrico mina en anillo

4.3.1. Consideraciones

- Para todos los casos en los que se señala que se simulan con banco de capacitores, tales bancos de capacitores son los siguientes.

Tabla 19.

Lista de Bancos de Capacitores adicionados para la Simulación en el Sistema Eléctrico Mina Marcapunta Norte

BANCO DE CAPACITORES ADICIONADOS			
BANCO DE CONDENSADORES (Código ETAP)	POTENCIA	TENSIÓN NOMINAL	UBICACIÓN
	KVAR	(kV)	
ADICIONALES			
bc_RB7(I)	300	0.46	SE 312
bc_RB7(II)	300	0.46	SE 9775SUP
bc_RB8	300	0.46	SE RP1345
bc_BOCAMINA4635	500	0.46	SE BOCAMINA4635

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

4.3.2. Escenario

Se consideran los siguientes escenarios:

- Máxima Demanda sin Banco de Capacitores
- Máxima Demanda con Banco de Capacitores
- Potencia Instalada con Banco de Capacitores

En este escenario se evalúa el sistema eléctrico bajo la topología de la red actual, *EN ADICIÓN CON LAS SIGUIENTES CONSIDERACIONES* (Ver tabla 21):

- Cambio de conductor de la línea en 10.5 (IneSESMELTER-SEMPN_10.5), comprendida entre las subestaciones Smelter y Marcapunta Norte, este reforzamiento comprende un cambio de conductores de cobre de 35 mm² de sección que actualmente se tiene por conductores de Aluminio (AAAC) de 95 mm² de sección.

- Cambio de conductor de la línea en 10.5 (lneDRVRBS-SERB6TRAM2_10.5), comprendida entre la subestación RB6 y el poste que se encuentra a la altura del RB7, este reforzamiento comprende un cambio de conductores de cobre de 35 mm² de sección que actualmente se tiene por conductores de aluminio (AAAC) de 70 mm² de sección.
- Instalación de un transformador (tr_SE_RB12) de 2.0 MVA, 10.5/4.2 kV en la SE RB12.
- Instalación de la línea en 4.2kV (lneRB12-01_120mm) con cables de energía de 120mm² de sección, comprendida entre la barra SE_RB12_4.2 (salida del transformador tr_SE_RB12 en 4.2kV) y la barra SE_RP1091_4.2 (llegada al transformador tr_SE_RP1091 en 4.2kV).
- Instalación de la línea en 10.5 (lneSESMELTER-SERB12_10.5) con conductores aéreos de aluminio (AAAC) de 95mm² de sección, comprendida entre la barra SMELTER_10.5 (salida en 10.5kV de la subestación Smelter) y la barra SE_RB12_10.5 (llegada a la subestación RB12 en 10.5kV).
- Para la operación en anillo de las líneas de distribución MT debe cumplir los siguientes requisitos mínimos: El transformador o transformadores de potencia deben tener las mismas características técnicas y conexiónado.

4.3.3. Análisis de flujo de potencia

A continuación, se presentan tablas y figuras que resumen los resultados y el análisis correspondiente a flujos de potencia.

A. Resultados de perfil de tensión en barras

En las siguientes tablas se muestran los resultados de perfil de tensión en barras, para los escenarios considerados.

Tabla 20.
Perfiles de Tensión Sistema en Anillo

PERFILES DE TENSIÓN					
N°	BARRA Código ETAP	L-L Volt. Nom kV	SISTEMA EN ANILLO		
			Máxima Demanda		Potencia Instalada
			Sin BC's Magnitud p.u.	Con BC's Magnitud p.u.	Con BC's Magnitud p.u.
SUPERFICIE					
1	SE_SMELTER_10.5	10.5	0.988	1.021	1.004
2	SE_MPN_10.5	10.5	0.984	1.017	0.996
3	SE_MPN_0.46	0.46	1.004	1.039	1.036
4	SE_LAGSMELT_10.5	10.5	0.972	1.009	0.972
5	SE_RB1_10.5	10.5	0.967	1.005	0.963
6	SE_RB3_10.5	10.5	0.971	1.008	0.971
7	SE_RB3_0.46	0.46	0.979	1.017	0.963
8	SE_RB6_10.5	10.5	0.964	1.003	0.959
9	SE_RB9_10.5	10.5	0.967	1.005	0.963
10	SE_BM4635_10.5	10.5	0.966	1.005	0.963
11	SE_RB12_10.5	10.5	0.968	1.007	0.964
MINA					
1	SE_312_4.2	4.2	0.995	1.019	0.983
2	SE_1090-2_4.2	4.2	0.992	1.016	0.977
3	SE_9775SUP_4.2	4.2	0.978	1.002	0.946
4	SE_TDF9775-1_4.2	4.2	0.978	1.002	0.945
5	SE_1195INF_4.2	4.2	0.974	0.999	0.938
6	SE_TDF9340W_4.2	4.2	0.971	0.996	0.930
7	SE_9340INF_4.2	4.2	0.971	0.995	0.929
8	RB8_CELDAMINA_4.2	4.2	0.973	1.008	0.935
9	SE RP1345_4.2	4.2	0.972	1.007	0.933
10	SE 8948INT_4.2	4.2	0.971	1.006	0.932
11	SE_1091_4.2	4.2	0.983	1.014	0.949
12	SE RP1091_4.2	4.2	0.987	1.017	0.957
13	SE 1091(-)_4.2	4.2	0.986	1.016	0.954

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

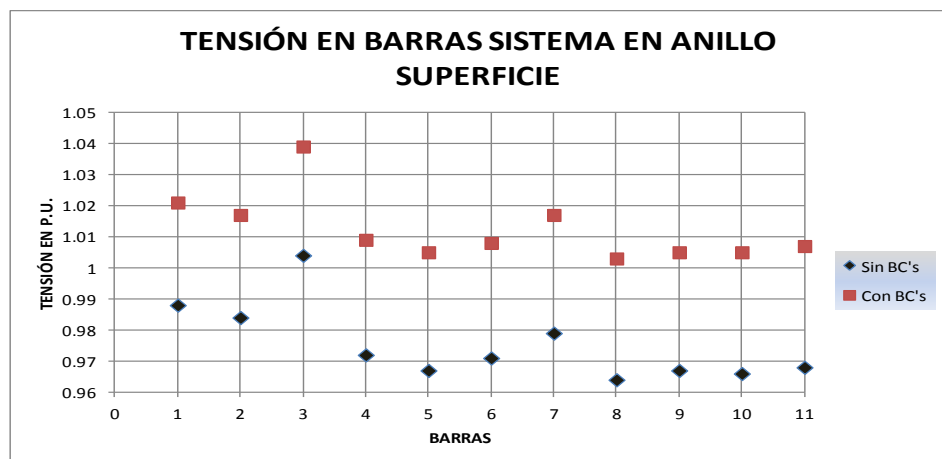


Figura 28. Perfiles de Tensión Sistema en Anillo Superficie
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

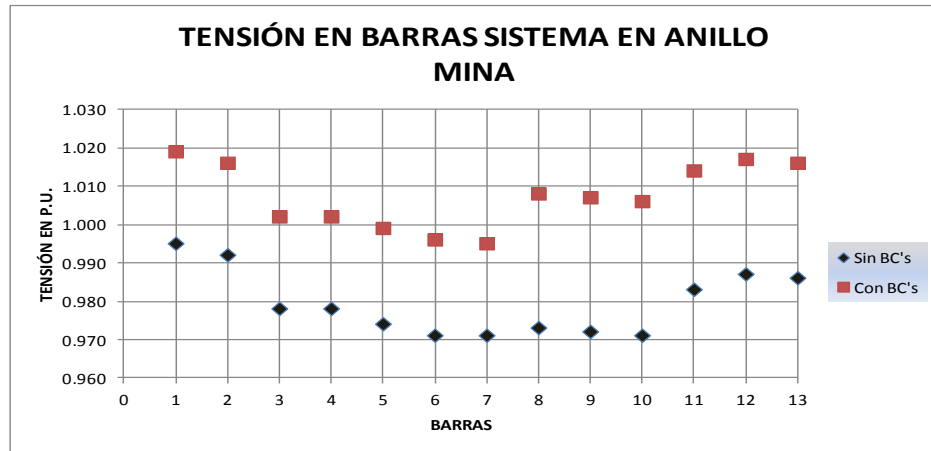


Figura 29. Perfiles de Tensión Sistema en Anillo Interior Mina
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Se puede observar en la Tabla 20, que para el caso Sistema en Anillo, tanto con y sin Banco de Capacitores, los perfiles de tensión son mayores en relación al caso Sistema Reforzado, lo cual resulta mejor sobre todo en las barras ubicadas en interior mina ya que como se sabe los equipos utilizados, en gran porcentaje involucran el uso de motores, al arrancar estos producen caídas de tensión y debido al porcentaje que estos representan del total de las cargas por subestación podrían ser considerables; entonces, tener mayor tensión en barras dentro de los márgenes permisibles es mejor.

Los resultados con potencia instalada en radial y anillo es necesario la ampliación del transformador de potencia de la S.E. Smelter de:

- Cambio de Transformador a 8/10 MVA, 48/10.5 kV.
- Ampliación a 02 transformadores 4/5 MVA, 48/10.5 kV en paralelo.
- Redistribución de carga de los 02 alimentadores (Actual y futuro) para mejorar los niveles de tensión.

A. Resultados de cargabilidad de las líneas y cables de energía

En las siguientes tablas se muestran los resultados de los niveles de cargabilidad de los conductores aéreos y cables de energía.

Tabla 21.
Cargabilidad de Líneas y Cables de Energía Sistema en Anillo

PERFILES DE TENSIÓN			
BARRA Código ETAP	SISTEMA EN ANILLO		
	Máxima Demanda		Potencia Instalada
	Sin BC's	Con BC's	Con BC's
	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %
SUPERFICIE			
lneSESMELTER-SEMPN_10.5	66	55	118
lneSEMPN-SELAGSMELT_10.5	73	61	134
lneSELAGSMELT-SERB3_10.5	73	60	133
lneSERB3-DRVRBS 10.5	72	56	115
lneDRVRBS-SERB1_10.5	3	4	6
lneSERB1-SERB9_10.5	6	8	10
lneSERB9-SERB12_10.5	12	14	14
lneDRVRBS-DRVBM4635 10.5	13	11	13
lneDRV4635-SE4635 10.5	5	5	5
lneDRVRBS-SERB6(I)_10.5	59	49	98
lneDRVRBS-SERB6(II)_10.5	59	49	98
lneSERB6-DRVRB7_4.2	39	29	62
lneRB7 4.2	39	29	62
lneDRVRB7-RB8_4.2	-	-	-
lneSESMELTER-RB12_10.5	35	26	69
MINA			
lneRB7(I)-01 120mm	24	18	38
lneRB7(I)-02 120mm	10	10	21
lneRB7(I)-03_70mm	14	14	30
lneRB7(II)-01_120mm	47	39	85
lneRB7(II)-02 70mm	66	56	120
lneRB7(II)-03 70mm	13	13	30
lneRB7(II)-04_70mm	30	29	70
lneRB7(II)-05_70mm	21	20	54
lneRB7(II)-06_70mm	13	13	30
lneRB8-01 120mm	-	-	-
lneRB8-02_70mm	11	20	22
lneRB8-03_70mm	19	18	26
lneRB8-04_70mm	30	22	40
lneRB8-05 120mm	25	18	45
lneRB8-06 70mm	11	10	24
lneRB12-01_120mm	42	32	83

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

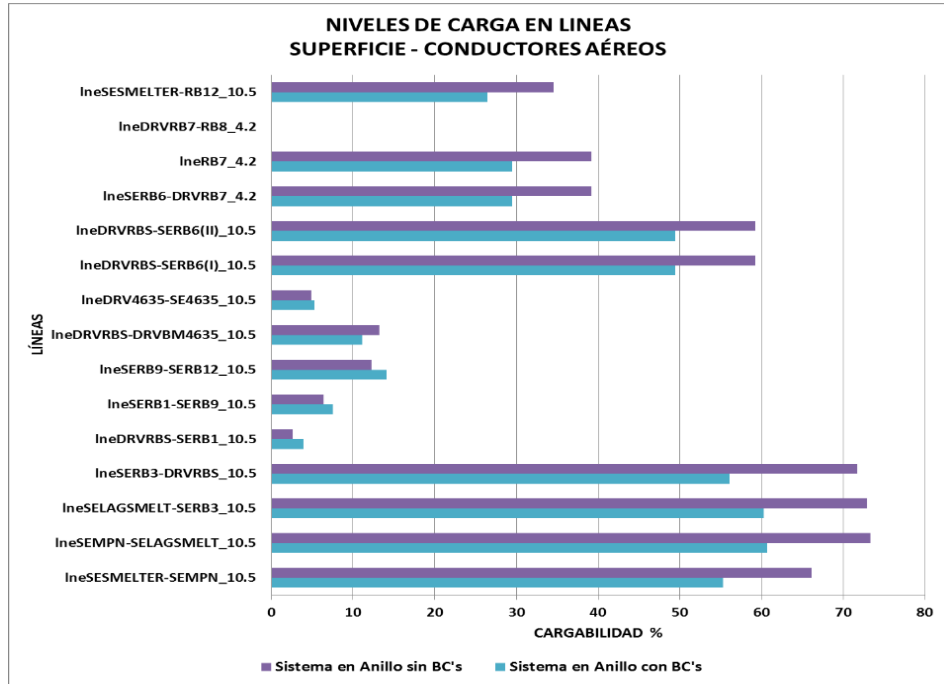


Figura 30. Niveles de Carga en Líneas Sistema en Anillo – Superficie
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

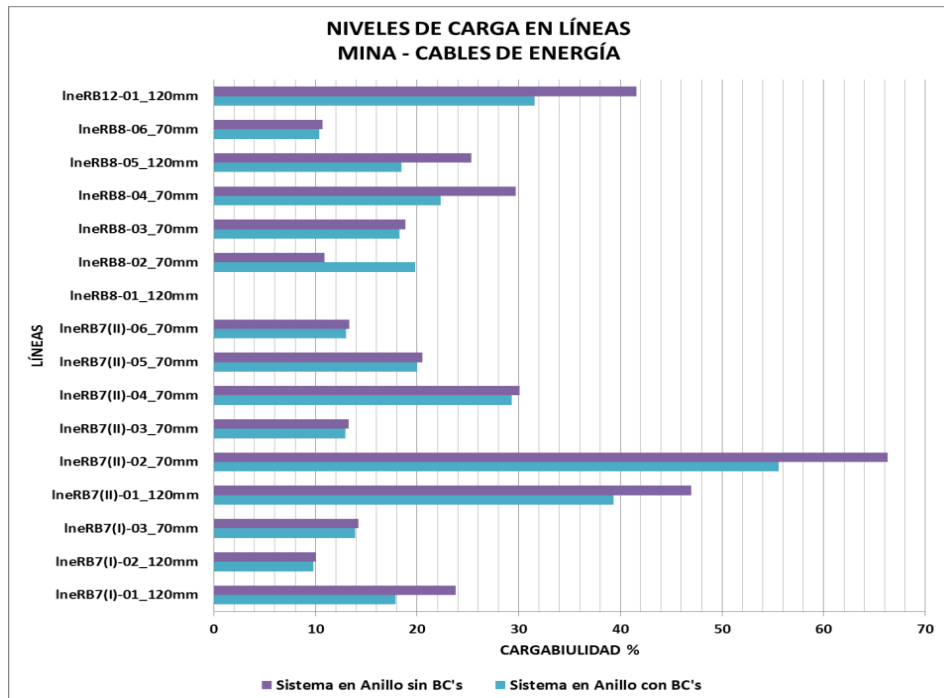


Figura 31. Niveles de Carga en Líneas Sistema en Anillo – Interior Mina
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

B. Resultados de cargabilidad de los transformadores de potencia

En la siguiente tabla se muestran los resultados de los niveles de cargabilidad de los transformadores de potencia.

Tabla 22.
Cargabilidad de los Transformadores Sistema en Anillo

PERFILES DE TENSION			
BARRA Código ETAP	SISTEMA EN ANILLO		
	Máxima Demanda		Potencia Instalada
	Sin BC's	Con BC's	Con BC's
	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %
SUPERFICIE			
tr SMELTER	104	89	76
tr SE MPN	26	26	59
tr SE RB1(I)	32	33	66
tr SE RB1(II)	4	4	4
tr SE RB3	22	23	41
tr SE RB6(1)	34	26	54
tr SE RB6(2)	67	57	121
tr SE RB6(3)	32	33	55
tr SE RB9(I)	69	70	92
tr SE RB9(II)	4	4	4
tr SE RB12	60	46	119
MINA			
tr SE 312	65	48	80
tr SE 1090-2	47	47	99
tr SE 9775SUP	71	52	68
tr SE TDF9775-1	41	41	91
tr SE 1195INF	30	30	48
tr SE TDF9340W	22	22	70
tr SE 9340INF	41	41	89
tr SE RP1345	35	68	68
tr SE 8948INT	58	58	77
tr SE 1091	20	20	80
tr SE RP1091	24	24	60
tr SE 1091(-)	34	34	73

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

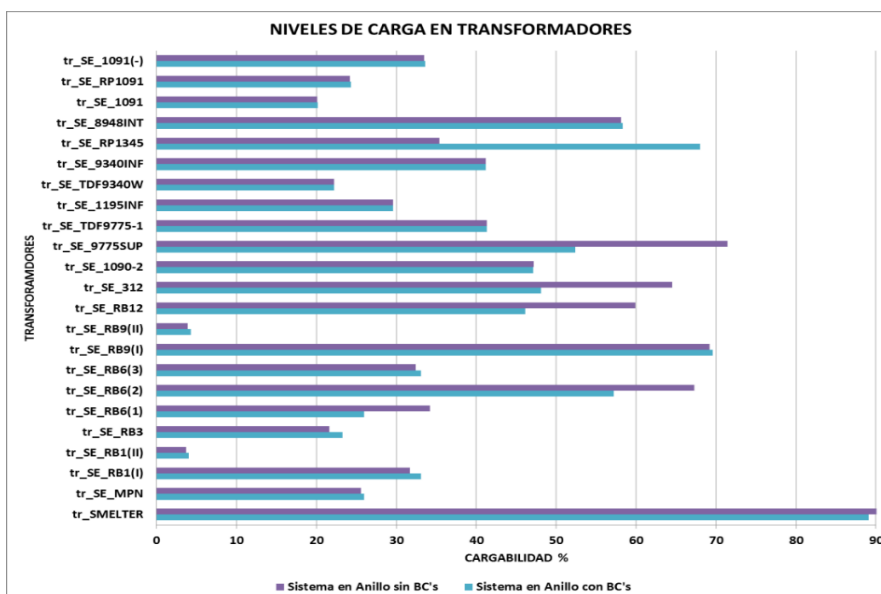


Figura 32. Cargabilidad de los Transformadores Sistema en Anillo

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Tal como se muestra en la Tabla 22 y en la figura 32, el transformador tr_SMELTER que precisamente es el que alimenta a todo el Sistema Eléctrico Mina Marcapunta Norte, presenta una cargabilidad de 104%; y con la implementación de los bancos de capacitores se reduce el porcentaje a un 89%.

Como segunda alternativa complementaria de mejora del sistema se ha propuesto este caso con las consideraciones y conclusiones a continuación descritas (ver tabla 23):

Tabla 23.
Reducción del Nivel de Cargabilidad en las Líneas

NIVEL DE CARGA DE LAS LÍNEAS				
LÍNEA (Código ETAP)	SITUACIÓN ACTUAL		SISTEMA EN ANILLO	
	MÁXIMA DEMANDA	MÍNIMA DEMANDA	MÁXIMA DEMANDA	
			Sin BC'S	Con BC'S
	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %
SUPERFICIE				
lneSESMELTER-SEMPN_10.5	135	109	66	55
lneSEMPN-SELAGSMELT_10.5	114	92	73	61
lneSELAGSMELT-SERB3_10.5	114	92	73	60
lneSERB3-DRVRBS_10.5	113	94	72	56
lneDRVRBS-SERB6(II)_10.5	102	81	59	49
lneSERB6-DRVRB7_4.2	111	87	39	29

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

- Para este caso ya no se realiza un reforzamiento de todas las líneas que están trabajando por encima del nivel permisible de carga, tan solo es necesario realizar el cambio de calibre de conductores de las líneas lne_SESMELTER-SEMPN_10.5 y lne_DRVRBS-SERB6(II)_10.5 (ver tabla 21), por conductores de aluminio (AAAC) de 95mm² y 70mm² de sección respectivamente, esto para homogenizar la sección de conductor con las líneas aguas arriba y aguas abajo y evidentemente establecer los valores de cargabilidad dentro de los niveles permisibles acorde con la norma.

- Para reducir los niveles de cargabilidad del transformador tr_SERB6(I) y la línea lne_SERB6-DRVRB7_4.2, se propone *instalar un transformador 2.0 MVA en la Subestación RB12*, con similares características de las que se tienen en la Subestación RB6, esto se repite al igual que en el caso Sistema Reforzado ya que esto es un implementación de mejora técnica en ambos casos, además de que *instalado el nuevo transformador en la Subestación RB12 y tendiendo una nueva línea en 4.16 kV en interior mina*, se tendrá una mayor capacidad de carga a futuro; por otro lado el primer punto de llegada en el interior de la mina se ubica en un lugar estratégico, cercano a la interconexión que se proyecta entre las minas Marcapunta Norte y Marcapunta Oeste.
- *Lo más resaltante en esta propuesta es la implementación de una nueva línea en 10.5 kV desde la salida de la Subestación Smelter a la Subestación RB12 de aproximadamente 2 km de longitud con conductores de aluminio (AAAC) de 95 mm² de sección*, con esto se logra reducir los niveles de cargabilidad de las líneas, tal como se muestra en la Tabla 21 con el sistema en anillo que se propone en el presente estudio.
- Bajo las consideraciones descritas se mejora los niveles de tensión en barras y cargabilidad de transformadores y líneas dentro los límites permisibles
- No está por demás señalar que para la implementación de este sistema no requiere realizar ninguna interrupción del funcionamiento normal del

sistema; salvo cuando se vaya a poner en servicio que en comparación al caso anterior el tiempo de interrupción el mucho mayor.

- Es de gran importancia la implementación de los bancos de capacitores, esto porque cinco (05) de los doce (12) transformadores de interior Mina vienen trabajando en la posición tap 5 (último tap inferior). La implementación de los bancos de capacitores mejora considerablemente el nivel de tensión y cargabilidad de líneas, cables de energía y transformadores.

4.3.4. Análisis de resultado de corto circuito

De la evaluación de corto circuito del sistema eléctrico en estudio, se muestran a continuación las tablas y figuras que resumen los resultados.

Tabla 24.

Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Sistema en Anillo Superficie

MÁXIMAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO							
Nº	BARRA Código ETAP	L-L Volt. Nom k V	Corriente de Cortocircuito		SISTEMA EN ANILLO		
			Máxima Demanda				
			Máx. (kA)	Mín. (kA)	3Ø (kA)	1Ø (kA)	2ØT (kA)
SUPERFICIE							
1	SE_SMELTER_50	50.0	3.9	3.5	3.9	3.5	3.8
2	SE_SMELTER_10.5	10.5	4.0	3.4	4.0	0.0	3.4
3	SE_MPN_10.5	10.5	3.8	3.3	3.8	0.0	3.3
4	SE_MPN_0.46	0.5	14.3	13.9	13.9	14.3	14.1
5	SE_RB1_10.5	10.5	3.5	2.9	3.5	0.0	3.1
6	SE_RB1_0.46	0.5	12.3	12.2	12.2	12.3	12.3
7	SE_RB3_10.5	10.5	3.6	3.1	3.6	0.0	3.1
8	SE_RB3_0.46	0.5	34.1	29.5	34.1	0.0	29.6
9	SE_RB6_10.5	10.5	3.5	2.9	3.5	0.0	3.0
10	SE_RB6(1)_4.2	4.2	4.0	3.6	3.6	4.0	4.0
11	SE_RB6(2)_4.2	4.2	4.2	3.9	3.9	4.2	4.2
12	SE_RB6(3)_0.46	0.5	17.0	16.2	16.3	17.0	16.8
13	SE_RB9_10.5	10.5	3.5	2.8	3.5	0.0	3.0
14	SE_BM4635_10.5	10.5	3.1	2.6	3.1	0.0	2.7
15	SE_BM4635_0.46	0.5	17.8	16.8	16.9	17.8	17.6
16	SE_RB12_10.5	10.5	3.4	2.6	3.4	0.0	3.0
17	SE_RB12_4.2	4.2	4.1	3.7	3.8	4.1	4.1

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

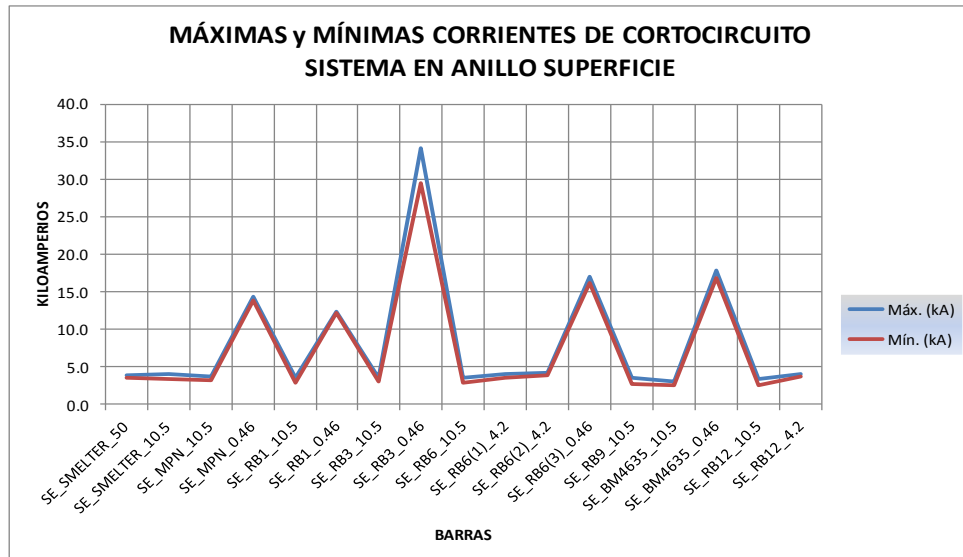


Figura 33. Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Sistema en Anillo Superficie
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

De acuerdo con a la tabla 24 y figura 33 mostrados, se observa que los valores de corriente de falla trifásica en la barra SE_RB1091_0.46 que de 14.5 kA en Situación Actual se incrementa hasta 16.6 kA para el Sistema en Anillo.

La subestación Smelter en 10.5 kV, la más importante para el sistema en estudio, no sufre una variación significativa en la Situación Actual el valor de corriente de falla trifásica es de 3.91 kA y para el Sistema en Anillo es de 3.96 kA.

Tabla 25.
Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Sistema en Anillo Mina

MÁXIMAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO							
N°	BARRA Código ETAP	L-L Volt. Nom kV	Corriente de Cortocircuito		SISTEMA EN ANILLO		
			Máx. (kA)	Mín. (kA)	Máxima Demanda		
MINA							
			3Ø (kA)	1Ø (kA)	2ØT (kA)		
1	SE_312 4.2	4.2	3.40	3.10	3.30	3.10	3.40
2	SE_312_0.46	0.46	15.60	14.10	14.10	15.60	15.20
3	SE_1090-2_ 4.2	4.2	3.00	2.20	3.00	2.20	2.90
4	SE_1090-2_ 0.46	0.46	14.80	13.00	13.00	14.80	14.50
5	SE_9775SUP_4.2	4.2	3.80	3.30	3.80	3.30	3.80
6	SE_9775SUP_0.46	0.46	16.70	15.30	15.30	16.70	16.30
7	SE_TDF9775-1_ 4.2	4.2	3.70	3.10	3.70	3.10	3.70
8	SE_TDF9775-1_ 0.46	0.46	15.90	14.20	14.20	15.90	15.40
9	SE_1195INF_4.2	4.2	3.50	2.50	3.50	2.50	3.40
10	SE_1195INF_0.48	0.48	13.30	12.00	12.00	13.30	13.00
11	SE_TDF9340W_ 4.2	4.2	3.20	2.00	3.20	2.00	3.00
12	SE_TDF9340W_0.48	0.48	12.80	11.40	11.40	12.80	12.60
13	SE_9340INF_4.2	4.2	3.20	1.90	3.20	1.90	3.00
14	SE_9340INF_0.46	0.46	15.10	13.30	13.40	15.10	14.90
15	RB8_CELDAMINA_4.2	4.2	2.90	1.60	2.90	1.60	2.70
16	SE RP1345_4.2	4.2	2.70	1.40	2.70	1.40	2.50
17	SE RP1345_0.46	0.46	14.20	12.10	12.30	14.20	14.10
18	SE 8948INT_4.2	4.2	2.70	1.40	2.70	1.40	2.50
19	SE 8948INT_0.46	0.46	15.10	13.10	13.30	15.10	15.10
20	SE_1091_4.2	4.2	3.40	2.40	3.40	2.50	3.40
21	SE_1091_0.46	0.46	14.60	12.60	12.80	14.60	14.20
22	SE RP1091_4.2	4.2	3.70	3.20	3.70	3.30	3.70
23	SE RP1091_0.46	0.46	19.40	16.30	16.60	19.40	18.80
24	SE 1091(-)_4.2	4.2	3.40	2.50	3.40	2.50	3.30
25	SE 1091(-)_0.48	0.48	13.40	11.90	12.00	13.40	13.10

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

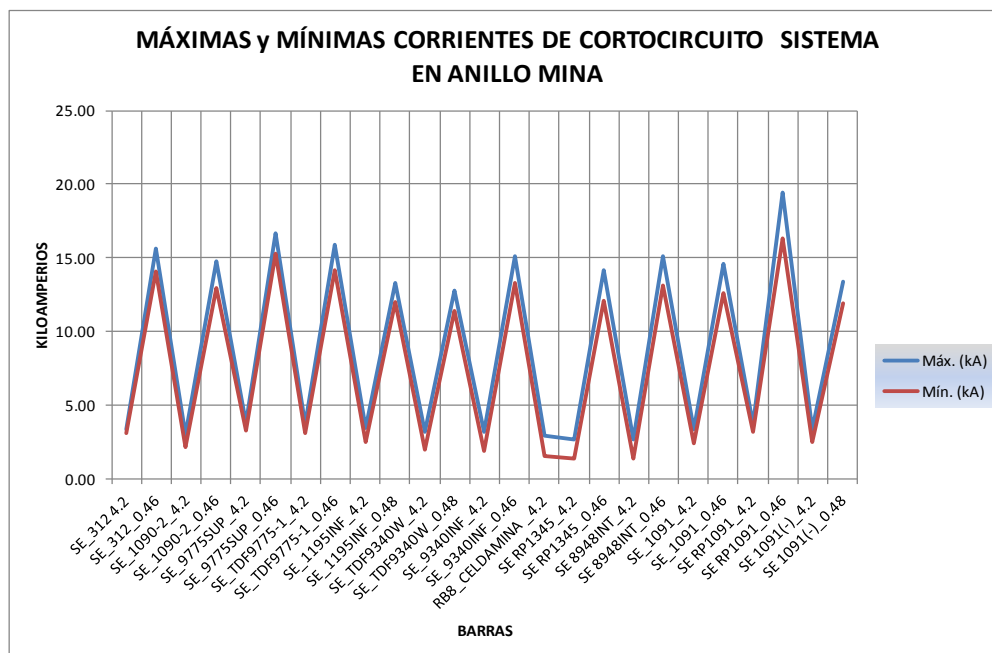


Figura 34. Máximas y Mínimas Corrientes de Cortocircuito Sistema en Anillo Mina
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

De acuerdo con a la tabla 25 y figura 34 mostrados, con respecto a las corrientes de fallas monofásicas que son las de mayor porcentaje de ocurrencia en un sistema eléctrico; las barras, en su mayoría, no sufren variaciones significativas, la mayor variación es de 17.4 kA en Situación Actual hasta llegar a alcanzar el valor de 19.4 kA en el caso Sistema en Anillo, esto ocurre en la barra SE_RP1091_0.46.

Cabe indicar que dichos valores obtenidos en el estudio no superan las corrientes de cortocircuito de los equipos electromecánicos instalados, garantizando su correcto funcionamiento.

4.4. Comparación de resultados en máxima demanda

En los siguientes acápites se presentan la comparación de los resultados en máxima demanda para la:

- Situación Actual
- Sistema Reforzado
- Sistema en Anillo

4.4.1. Comparación de Perfiles de Tensión

En la Tabla 26, se muestran los resultados para las siguientes barras.

Tabla 26.
Comparación de Perfiles de Tensión en Máxima Demanda

PERFILES DE TENSIÓN							
N°	BARRA Código ETAP	L-L Volt. Nom kV	SITUACIÓN ACTUAL	SISTEMA REFORZADO		SISTEMA EN ANILLO	
			Máxima Demanda	Máxima Demanda		Máxima Demanda	
			Magnitud p.u.	Sin BC's	Con BC's	Sin BC's	Con BC's
SUPERFICIE							
1	SE_SMELTER_10.5	10.5	0.990	0.995	1.024	0.988	1.021
3	SE_RB6_10.5	10.5	0.953	0.961	0.994	0.964	1.003
4	SE_RB12_10.5	10.5	0.956	0.957	0.992	0.968	1.007
MINA							
1	SE_312 4.2	4.2	0.951	0.991	1.010	0.995	1.019
4	SE_1091_4.2	4.2	0.925	0.970	0.998	0.983	1.014
5	SE RP1091 4.2	4.2	0.922	0.975	1.001	0.987	1.017
6	SE 1091(-) 4.2	4.2	0.920	0.973	1.000	0.986	1.016

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

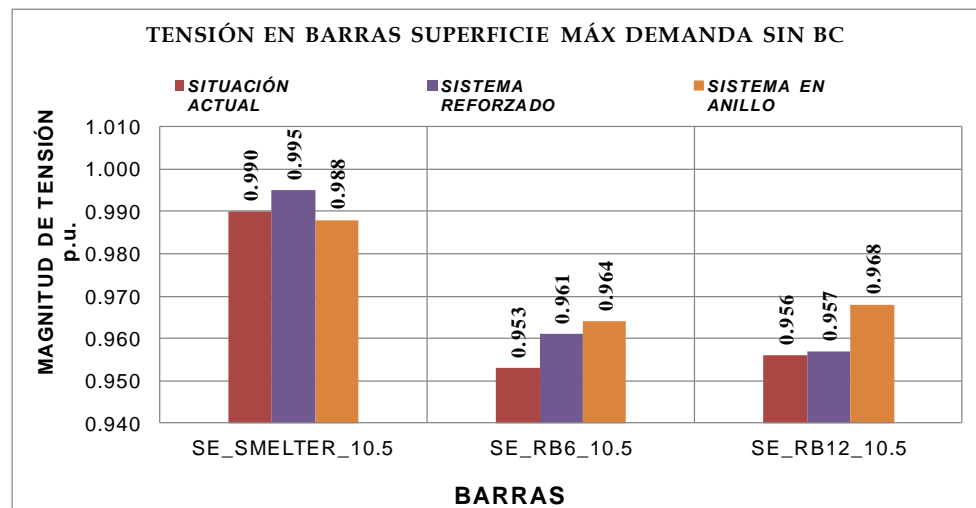


Figura 35. Tensión en Barras Superficie en Máxima Demanda sin BC
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

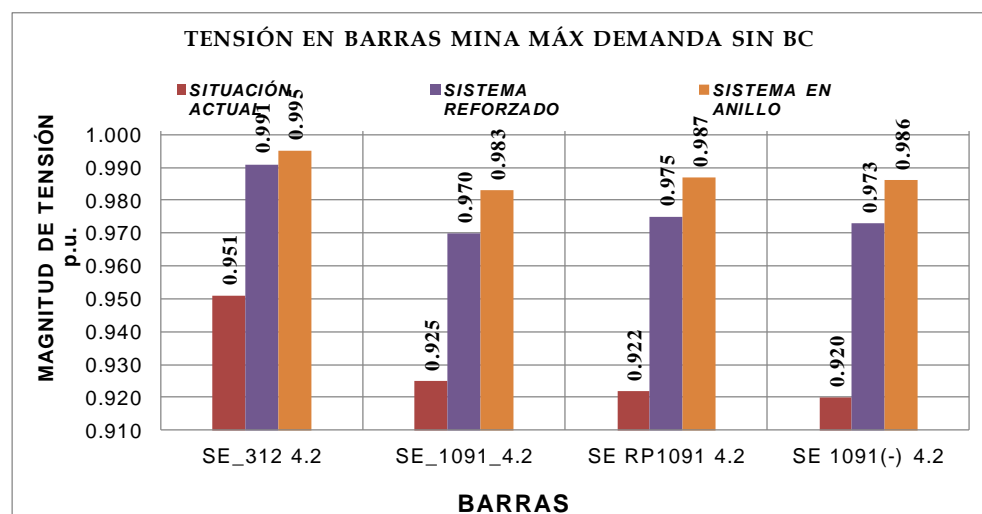


Figura 36. Tensión en Barras Mina en Máxima Demanda sin BC
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Tal como se observa en la Tabla 25, los valores de tensión en las barras de interior mina, para el caso de situación actual se encuentran fuera de los niveles de operación permisibles correspondientes al $\pm 5\% V_n$; a excepción de la barra SE_312 4.2 (0.951 p.u.).

Para los casos Sistema Reforzado y Sistema en Anillo para las barras analizadas con las variaciones mostradas en el Tabla los valores de tensión en p.u. se encuentran dentro de los niveles permisibles contemplados en la NTCSE. Asimismo, para el Sistema en Anillo, tanto con y sin Banco de Capacitores, los perfiles de tensión son mayores en relación con el Sistema Reforzado.

4.4.2. Comparación de cargabilidad de las líneas

En la siguiente tabla, se muestran los resultados para las siguientes barras.

Tabla 27.
Comparación de Cargabilidad de Líneas en Máxima Demanda

NIVEL DE CARGA DE LAS LÍNEAS						
N°	BARRA Código ETAP	SITUACIÓN ACTUAL	SISTEMA REFORZADO		SISTEMA EN ANILLO	
		Máxima Demanda	Máxima Demanda		Máxima Demanda	
			Sin BC's	Con BC's	Sin BC's	Con BC's
		Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %
SUPERFICIE						
1	lneSESMELTER-SEMPN_10.5	135	100	86	66	55
2	lneDRVRBS-SERB6(I)_10.5	89	59	50	59	49
3	lneDRVRBS-SERB6(II)_10.5	102	59	50	59	49
4	lneSERB6-DRVRB7_4.2	111	39	30	39	29
5	lneSESMELTER-RB12_10.5	-	-	-	35	26
MINA						
1	lneRB7(II)-01_120mm	49	47	40	47	39
2	lneRB7(II)-02_70mm	69	66	56	66	56
4	lneRB12-01_120mm	-	42	32	42	32

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

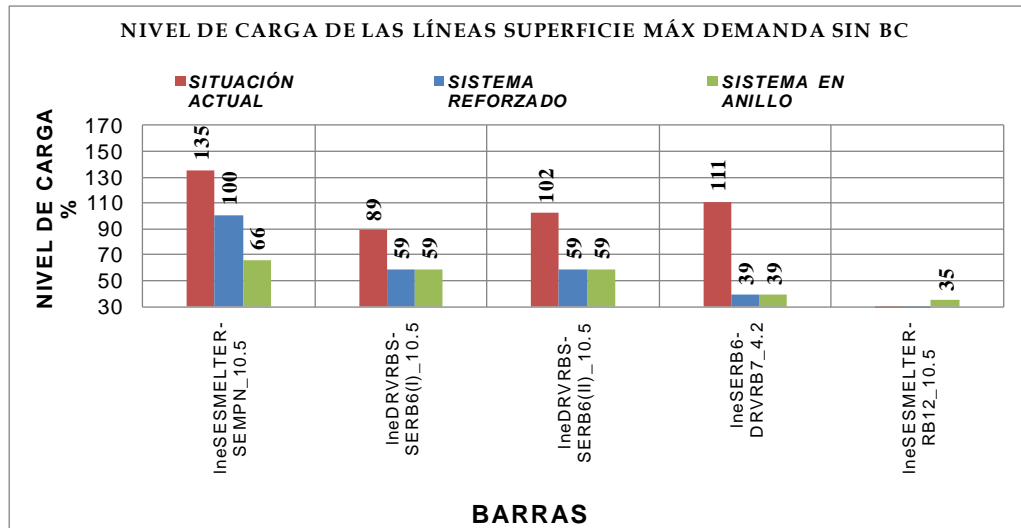


Figura 37. Cargabilidad de las Líneas Superficie Máxima Demanda sin BC
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

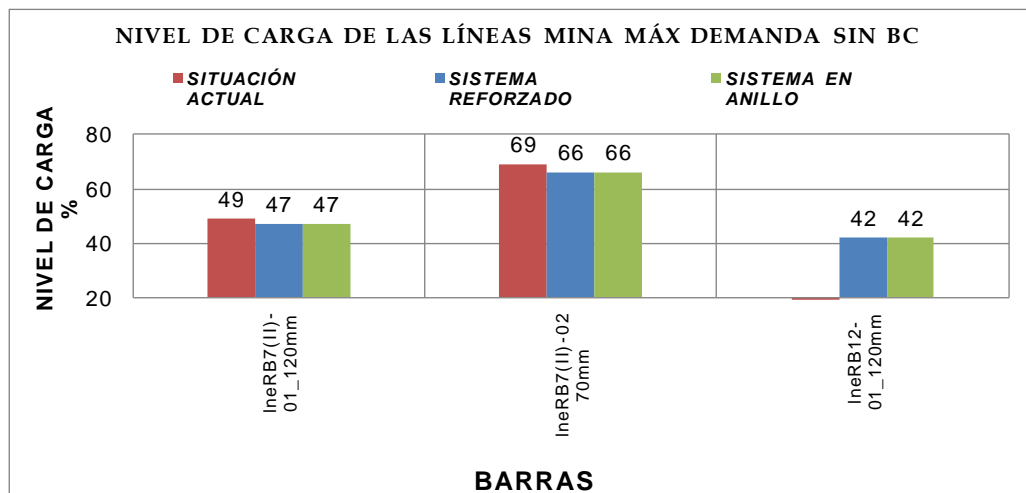


Figura 38. Cargabilidad de las Líneas Mina Máxima Demanda sin BC
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

De acuerdo a la Tabla 26, los niveles de carga de algunos conductores aéreos se encuentran por encima de su capacidad nominal en el caso de situación actual, siendo la línea Ine_SESMELTER-SEMPN_10.5 la de mayor porcentaje de cargabilidad con un 135%; sin embargo, para el Sistema Reforzado aun habiendo incrementado el calibre de algunos tramos, la línea en mención registra un valor de cargabilidad de 100% sin banco de capacitores y con la implementación de banco de capacitores su valor es de 86%, de esta manera se ve el efecto de la compensación en la cargabilidad de las líneas.

4.4.3. Comparación de cargabilidad de transformadores

En la Tabla 27, se muestran los resultados para las siguientes barras.

Tabla 28.
Comparación de Cargabilidad de Transformadores en Máxima Demanda

NIVEL DE CARGA DE LOS TRANSFORMADORES						
N°	BARRA Código ETAP	SITUACIÓN ACTUAL	SISTEMA REFORZADO		SISTEMA EN ANILLO	
		Máxima Demanda	Máxima Demanda		Máxima Demanda	
			Sin BC's	Con BC's	Sin BC's	Con BC's
		Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %
SUPERFICIE						
1	tr_SMELTER	106	104	90	104	89
2	tr_SE_RB6(1)	96	34	26	34	26
3	tr_SE_RB6(2)	66	67	57	67	57
4	tr_SE_RB12	-	60	46	60	46
MINA						
1	tr_SE_312	63	64	48	65	48
2	tr_SE_977SSUP	70	71	53	71	52
3	tr_SE_8948INT	57	58	59	58	58

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

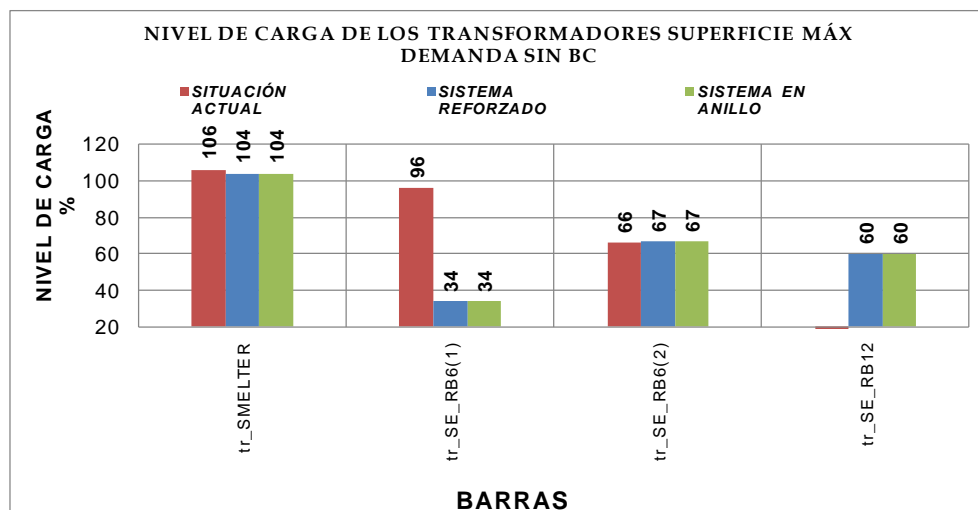


Figura 39. Cargabilidad de Transformadores Superficie Máxima Demanda sin BC
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

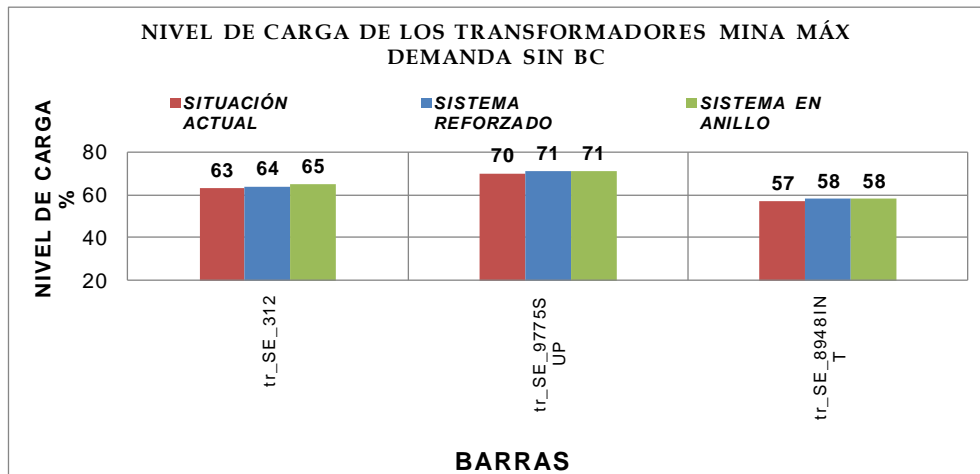


Figura 40. Cargabilidad de Transformadores Mina Máxima Demanda sin BC
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Tal como se muestra en la Tabla 27 y en las Figuras 39 y 40, los niveles de cargabilidad de los transformadores de potencia para el caso Situación Actual se encuentran por debajo de su valor nominal, excepto el transformador tr_SMELTER que es el que alimenta a todo el Sistema Eléctrico Mina Marcapunta Norte, se encuentran con un 6% por encima de su valor nominal. Para los casos Sistema Reforzado y Sistema en Anillo la tendencia es la misma; sin embargo, con la implementación de los Bancos de Capacitores se reduce el porcentaje de cargabilidad de este transformador de 104%, para ambos casos a 90% y 89% respectivamente.

4.4.4. Comparación de corrientes de corto circuito

En la Tabla 28, se muestran los resultados para las siguientes barras.

Tabla 29.

Comparación de Máximas Corrientes de Corto Circuito en Máxima Demanda

MÁXIMAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO					
N°	BARRA Código ETAP	L-L Volt. Nom kV	SITUACIÓN ACTUAL	SISTEMA REFORZADO	SISTEMA EN ANILLO
			Máxima Demanda Máx. (kA)	Máxima Demanda Máx. (kA)	Máxima Demanda Máx. (kA)
SUPERFICIE					
1	SE SMELTER_50	50.0	3.9	3.9	3.9
2	SE_MPN_0.46	0.5	14.2	14.3	14.3
3	SE_RB3_0.46	0.5	33.8	34.0	34.1
4	SE_RB12_10.5	10.5	2.8	3.0	3.4
MINA					
1	SE_312_0.46	0.46	16.2	15.6	15.6
2	SE_1090-2_0.46	0.46	15.4	14.7	14.8
3	SE 8948INT_0.46	0.46	15.7	15.0	15.1
4	SE 1091_0.46	0.46	13.9	14.4	14.6
5	SE RP1091_0.46	0.46	17.6	19.1	19.4

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

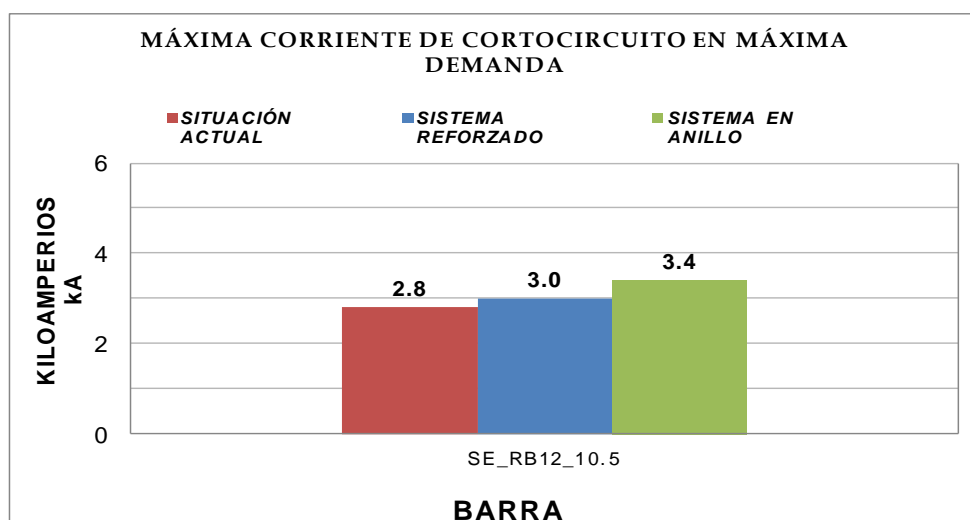


Figura 41. Máx. Corriente de Corto Ckto. en Máx. Demanda – Barra SE_RB12_10.5

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

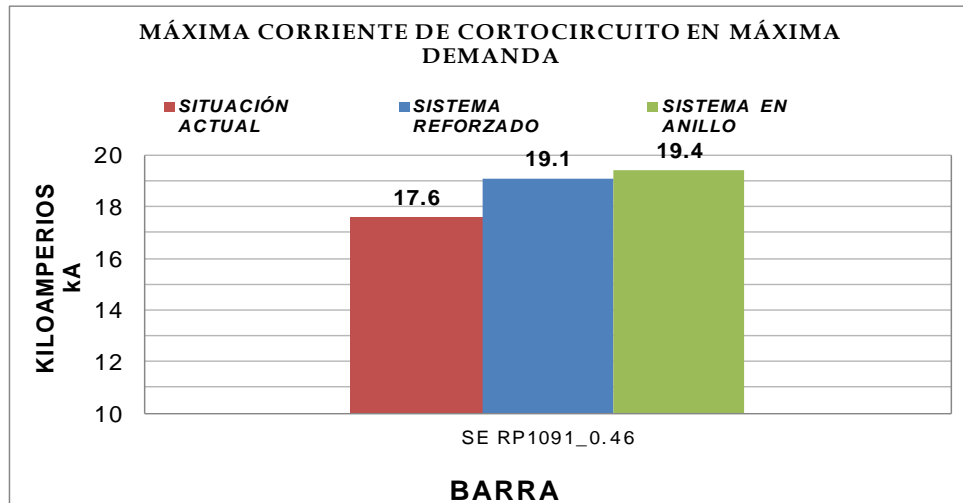


Figura 42. Máx. Corriente de Corto Ckto. en Máx. Demanda – Barra SE_RP1091_0.46
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

De acuerdo con la Tabla 28, Figuras 41 y 42, se observa que los valores de corriente de falla máxima en los tres escenarios simulados no sufren variaciones significativas, uno de los mayores aumentos se produce en la barra SE_RP1091_0.46 que de 17.6 kA en Situación Actual se incrementa hasta 19.1 kA y 19.4 kA para el Sistema Reforzado y Sistema en Anillo respectivamente.

4.5. Análisis de contingencias

El análisis en contingencia de un sistema eléctrico es el de someter a dicho sistema a las condiciones más severas de operación (n-1), a fin de evaluar el comportamiento de las instalaciones y equipos.

4.5.1. Metodología y criterios

De acuerdo al Anexo N° 02 “Alcances para el Desarrollo de Estudios de Pre Operatividad” del Procedimiento Técnico del COES, PR-20, se considera que en estado de emergencia se debe mantener un nivel de tensión comprendido entre 0.90 y 1.05 p.u. de la tensión de operación en toda las barras con tensión nominal igual o menor a 138 kV; así mismo se considera que los niveles de

cargabilidad de los equipos como: Cables de energía, conductores aéreo y transformadores de potencia, se deben mantener por debajo del 120% de su capacidad nominal.

Se han considerado para el análisis del sistema eléctrico El Brocal en contingencia los casos de simulación **SISTEMA REFORZADO Y SISTEMA EN ANILLO**.

Las contingencias consideradas para el presente análisis son las siguientes:

- **CONTINGENCIA 01.-** Basada en la topología de red y demandas de potencia del escenario Sistema Reforzado, con las consideraciones siguientes:
 - Fuera de Servicio: Falla de transformador 2 MVA tr_SE_RB6(1) (ver tabla 9)

- **CONTINGENCIA 02.-** Basada en la topología de red y demandas de potencia del escenario Sistema Anillo, con las consideraciones siguientes:
 - Fuera de Servicio: Falla de transformador 2 MVA tr_SE_RB6(1) (ver tabla 31)

- **CONTINGENCIA 03.-** Basada en la topología de red y demandas de potencia del escenario Sistema Anillo, con las consideraciones siguientes:
 - Fuera de Servicio: Línea en 10.5kV lneSESMELTER-SEMPN_10.5 (ver tabla 31)

No está por demás señalar que en el caso de Situación Actual ante la interrupción de cualquier línea o subestación todo el sistema aguas abajo quedara sin suministro de energía eléctrica, por lo que es el estudio en contingencias solo se dan para los casos propuestos.

4.5.2. Análisis de resultados

Los resultados de este análisis se presentan en el Anexo 02 en diagramas unifilares y reportes donde se muestran los flujos de carga bajo cada escenario simulado.

A continuación, se presentan tablas y figuras que resumen los resultados y el análisis correspondiente a flujos de potencia en estado estacionario, considerando valores de operación en contingencia.

A. Resultados de perfil de tensión en barras

En las siguientes tablas se muestran los resultados de perfil de tensión en barras, para los escenarios de contingencia considerados.

Tabla 30.
Perfiles de Tensión en Contingencias – Máxima Demanda

TENSIÓN EN BARRAS								
N°	BARRA Codigo ETAP	L-L Volt. Nom. kV	CONTINGENCIA 01 Máxima Demanda		CONTINGENCIA 02 Máxima Demanda		CONTINGENCIA 03 Máxima Demanda	
			Sin BC's	Con BC's	Sin BC's	Con BC's	Sin BC's	Con BC's
			Magnitud p.u.	Magnitud p.u.	Magnitud p.u.	Magnitud p.u.	Magnitud p.u.	Magnitud p.u.
SUPERFICIE								
1	SE_SMELTER_10.5	10.5	1.00	1.03	1.00	1.03	1.00	1.03
2	SE_MPN_10.5	10.5	0.99	1.02	1.00	0.99	0.94	0.99
3	SE_MPN_0.46	10.5	0.99	1.00	1.02	1.01	0.96	1.01
4	SE_LAGSMELT_10.5	0.46	0.98	1.01	0.99	0.99	0.94	0.99
5	SE_RB1_10.5	10.5	0.97	1.00	0.98	0.99	0.94	0.99
6	SE_RB3_10.5	10.5	0.98	1.01	0.99	0.99	0.94	0.99
7	SE_RB3_0.46	10.5	0.98	0.99	1.00	0.99	0.97	0.99
8	SE_RB6_10.5	0.46	0.97	1.00	0.98	0.98	0.94	0.98
9	SE_RB9_10.5	10.5	0.96	1.00	0.98	0.99	0.94	0.99
10	SE_BM4635_10.5	10.5	0.97	1.00	0.98	0.98	0.94	0.99
11	SE_RB12_10.5	10.5	0.96	1.00	0.98	0.99	0.95	1.00
MINA								
1	SE_312_4.2	4.2	0.91	0.96	0.94	0.93	0.94	1.00
2	SE_1090-2_4.2	4.2	0.91	0.96	0.94	0.93	0.94	1.00
3	SE_9775SUP_4.2	4.2	0.96	0.97	1.00	0.98	0.92	0.98
4	SE_TDF9775-1_4.2	4.2	0.95	0.97	1.00	0.98	0.92	0.98
5	SE_1195INF_4.2	4.2	0.95	0.97	1.00	0.98	0.92	0.98
6	SE_TDF9340V_4.2	4.2	0.95	0.97	0.99	0.98	0.91	0.98
7	SE_9340INF_4.2	4.2	0.95	0.97	0.99	0.98	0.91	0.98
8	RB8_CELDA MINA_4.2	4.2	0.93	0.97	0.96	0.94	0.93	1.00
9	SE_RP1345_4.2	4.2	0.93	0.97	0.95	0.94	0.93	1.00
10	SE_8948INT_4.2	4.2	0.93	0.97	0.95	0.94	0.93	0.99
11	SE_1091_4.2	4.2	0.95	0.99	0.98	0.96	0.94	1.00
12	SE_RP1091_4.2	4.2	0.96	0.99	0.98	0.97	0.94	1.01
13	SE_1091(-)_4.2	4.2	0.96	0.99	0.98	0.96	0.94	1.01

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

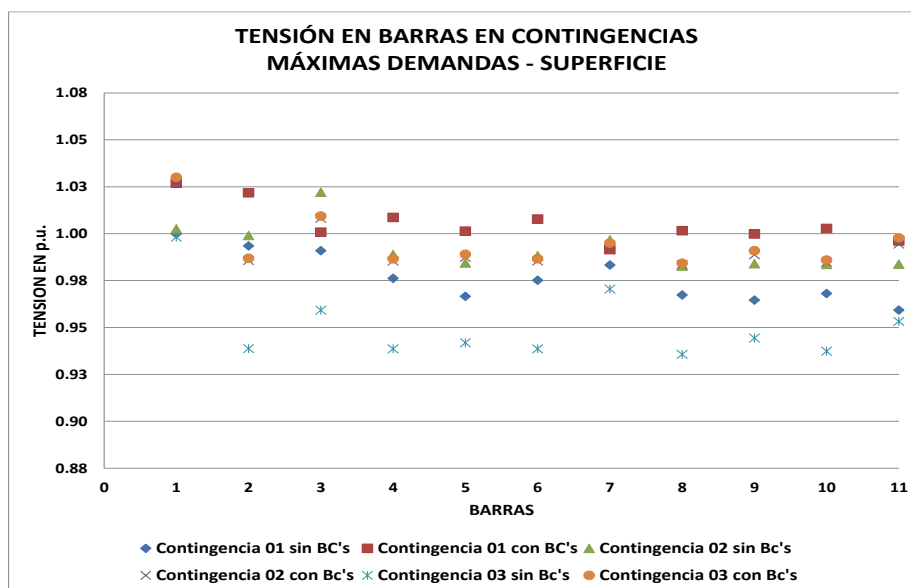


Figura 43. Perfiles de Tensión en Contingencias – Máxima Demanda Superficie
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

De los resultados obtenidos en los perfiles de Tensión en Contingencias – Máxima Demanda podemos observar que en todas las contingencias incluso aun sin la implementación de los Bancos de Capacitores, los valores de tensión están dentro de los límites permisibles.

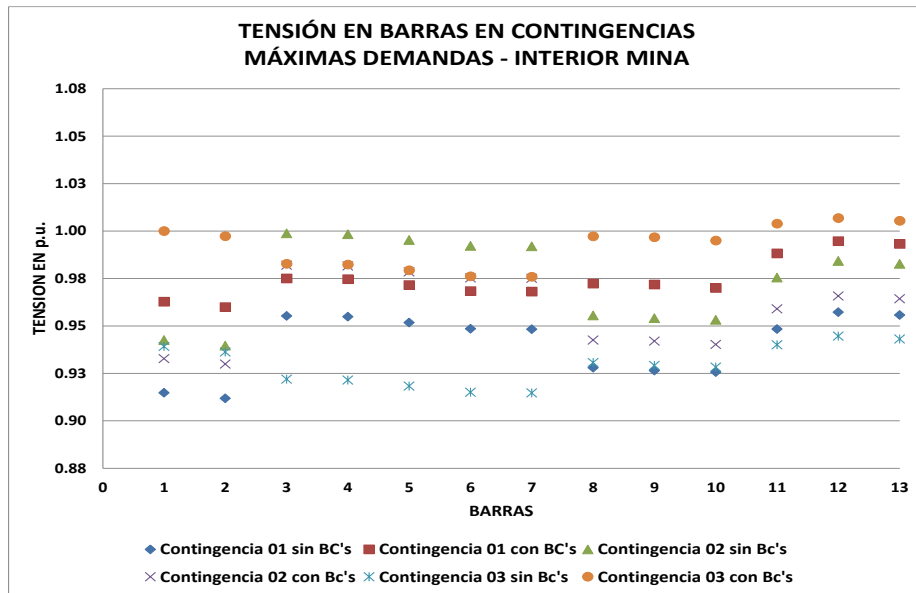


Figura 44. Perfiles de Tensión en Contingencias – Máxima Demanda Mina
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Tabla 31.
Perfiles de Tensión en Contingencias – Mínima Demanda

TENSIÓN EN BARRAS								
N°	BARRA Codigo ETAP	L-L Volt. Nom. kV	CONTINGENCIA 01		CONTINGENCIA 02		CONTINGENCIA 03	
			Mínima Demanda		Mínima Demanda		Mínima Demanda	
			Sin BC's	Con BC's	Sin BC's	Con BC's	Sin BC's	Con BC's
			Magnitud p.u.	Magnitud p.u.	Magnitud p.u.	Magnitud p.u.	Magnitud p.u.	Magnitud p.u.
SUPERFICIE								
1	SE_SMELTER_10.5	10.5	1.02	1.04	1.02	1.05	1.02	1.05
2	SE_MPN_10.5	11.5	1.01	1.04	1.02	1.02	0.97	1.02
3	SE_MPN_0.46	12.5	1.01	1.02	1.04	1.04	0.99	1.04
4	SE_LAGSMELT_10.5	13.5	1.00	1.03	1.01	1.02	0.97	1.02
5	SE_RB1_10.5	14.5	0.99	1.03	1.00	1.02	0.97	1.02
6	SE_RB3_10.5	15.5	1.00	1.03	1.01	1.02	0.97	1.02
7	SE_RB3_0.46	16.5	1.01	1.02	1.02	1.03	1.01	1.03
8	SE_RB6_10.5	17.5	0.99	1.03	1.00	1.02	0.97	1.02
9	SE_RB9_10.5	18.5	0.99	1.02	1.00	1.02	0.97	1.02
10	SE_BM4635_10.5	19.5	0.99	1.03	1.00	1.02	0.97	1.02
11	SE_RB12_10.5	20.5	0.98	1.02	1.00	1.02	0.98	1.03
MINA								
1	SE_312_4.2	4.2	0.96	1.01	0.98	0.98	0.97	1.04
2	SE_1090-2_4.2	4.2	0.96	1.01	0.98	0.98	0.97	1.03
3	SE_9775SUP_4.2	4.2	0.99	1.01	1.03	1.02	0.96	1.02
4	SE_TDF9775-1_4.2	4.2	0.99	1.01	1.03	1.02	0.96	1.02
5	SE_1195INF_4.2	4.2	0.98	1.00	1.03	1.02	0.96	1.02
6	SE_TDF9340W_4.2	4.2	0.98	1.00	1.02	1.02	0.96	1.02
7	SE_9340INF_4.2	4.2	0.98	1.00	1.02	1.02	0.96	1.02
8	RB8_CELDA MINA_4.2	4.2	0.97	1.02	0.99	0.99	0.97	1.04
9	SE_RP1345_4.2	4.2	0.97	1.02	0.99	0.99	0.97	1.04
10	SE_8948INT_4.2	4.2	0.97	1.02	0.99	0.99	0.97	1.04
11	SE_1091_4.2	4.2	0.99	1.03	1.01	1.00	0.98	1.04
12	SE_RP1091_4.2	4.2	1.00	1.03	1.02	1.01	0.98	1.05
13	SE_1091(-)_4.2	4.2	0.99	1.03	1.02	1.01	0.98	1.05

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

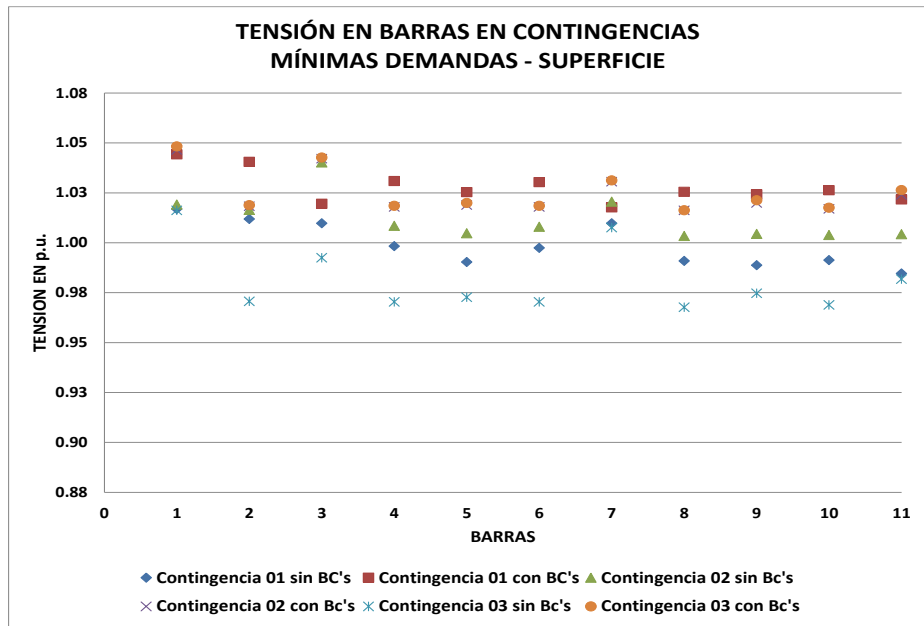


Figura 45. Perfiles de Tensión en Contingencias – Mínima Demanda Superficie
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

De los resultados obtenidos en los perfiles de Tensión en Contingencias – Mínima Demanda podemos observar que en todas las contingencias incluso aun sin la implementación de los Bancos de Capacitores, los valores de tensión están dentro de los límites permisibles.

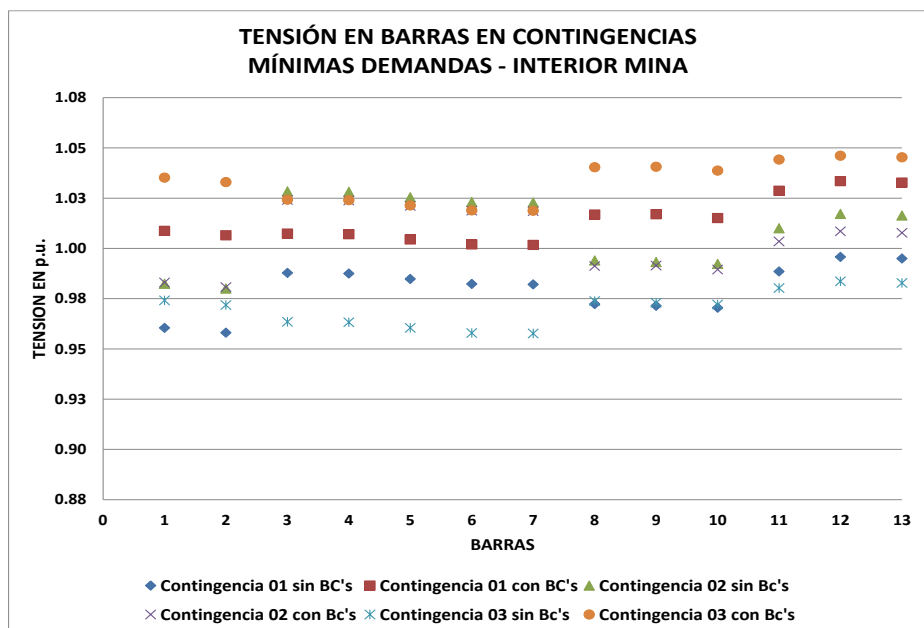


Figura 46. Perfiles de Tensión en Contingencias – Mínima Demanda Mina
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Pareciera innecesario la implementación de dichos bancos; pero es bueno señalar que los niveles de tensión son mayores y bajo factor de potencia de la carga (FdP= 0.83 aprox.); con el aporte de reactivos se tendrán va a disminuir los valores de cargabilidad de transformadores y líneas, por lo tanto, ameritan su implementación.

B. Resultados de cargabilidad de las líneas y cables de energía.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de cargabilidad de las líneas y cables de energía, para los escenarios de contingencia considerados.

Tabla 32.
Cargabilidad de Líneas y Cables de Energía en Contingencias

CUADRO DE CARGABILIDAD DE LÍNEAS						
LÍNEA (Código ETAP)	CONTINGENCIA 01		CONTINGENCIA 02		CONTINGENCIA 03	
	Máxima Demanda		Máxima Demanda		Máxima Demanda	
	Sin BC's	Con BC'S	Sin BC's	Con BC'S	Sin BC's	Con BC'S
	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %
SUPERFICIE						
IneSESMELTER-SEMPN_10.5	97	85	-	-	-	-
IneSEMPN-SELAGSMELT_10.5	97	83	64	7	7	7
IneSELAGSMELT-SERB3_10.5	96	83	64	7	7	7
IneSERB3-DRVRBS_10.5	95	79	62	18	17	18
IneDRVRBS-SERB1_10.5	57	45	9	56	74	68
IneSERB1-SERB9_10.5	55	42	13	60	76	72
IneSERB9-SERB12_10.5	47	35	8	66	84	77
IneDRVRBS-DRVBM4635_10.5	13	11	13	11	13	11
IneDRV4635-SE4635_10.5	5	5	5	5	5	5
IneDRVRBS-SERB6(I)_10.5	40	36	40	37	58	49
IneDRVRBS-SERB6(II)_10.5	40	36	46	42	66	56
IneSERB6-DRVRB7_4.2	0	0	0	0	41	30
IneRB7_4.2	41	31	41	32	41	30
IneDRVRB7-RB8_4.2	41	31	41	32	0	0
IneSESMELTER-RB12_10.5	-	-	33	74	83	73
MINA						
IneRB7(I)-01_120mm	25	19	25	19	25	18
IneRB7(I)-02_120mm	11	10	11	10	10	10
IneRB7(I)-03_70mm	15	14	15	15	15	14
IneRB7(II)-01_120mm	47	40	46	40	48	40
IneRB7(II)-02_70mm	66	56	65	56	68	56
IneRB7(II)-03_70mm	13	13	13	13	14	13
IneRB7(II)-04_70mm	30	30	29	30	31	29
IneRB7(II)-05_70mm	21	20	20	20	21	20
IneRB7(II)-06_70mm	13	13	13	13	14	13
IneRB8-01_120mm	25	19	25	19	0	0
IneRB8-02_70mm	11	19	11	18	11	18
IneRB8-03_70mm	19	19	19	19	19	18
IneRB8-04_70mm	66	47	64	49	30	22
IneRB8-05_120mm	51	37	50	38	26	18
IneRB8-06_70mm	11	11	11	11	11	10
IneRB12-01_120mm	53	40	66	53	33	25

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

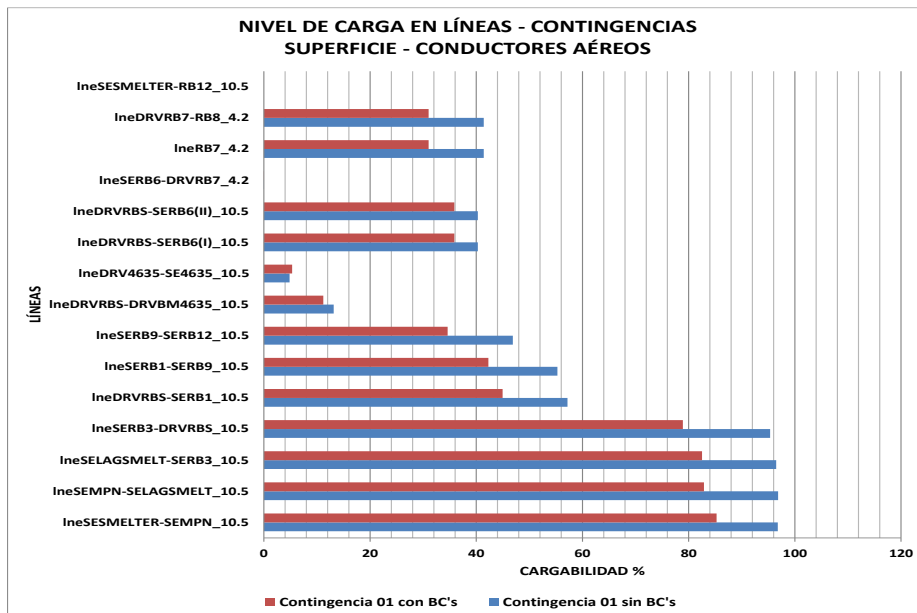


Figura 47. Niveles de Carga de Líneas en Contingencia – Superficie
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

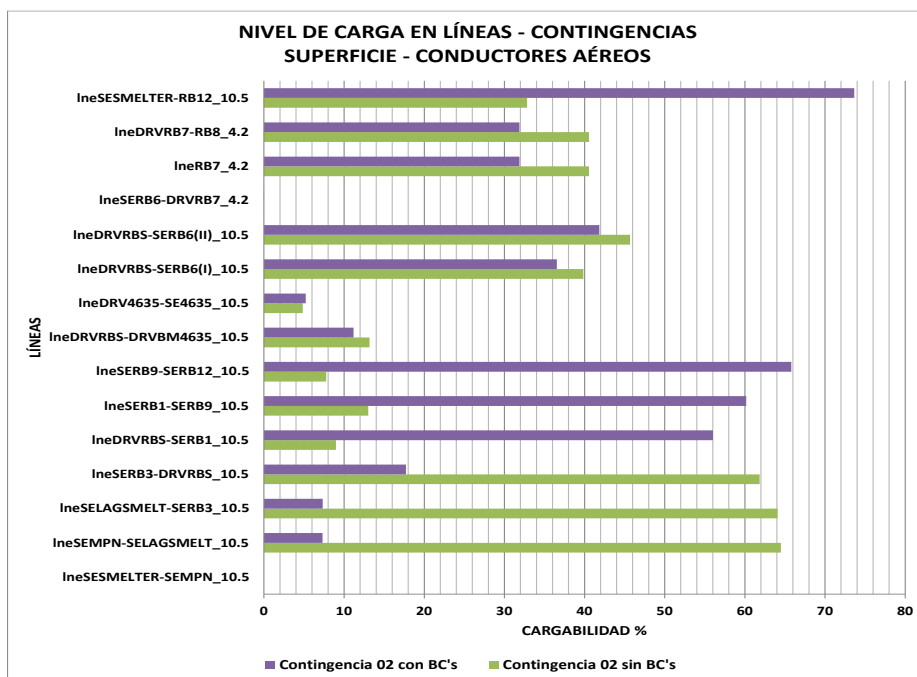


Figura 48. Niveles de Carga de Líneas en Contingencia – Superficie
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

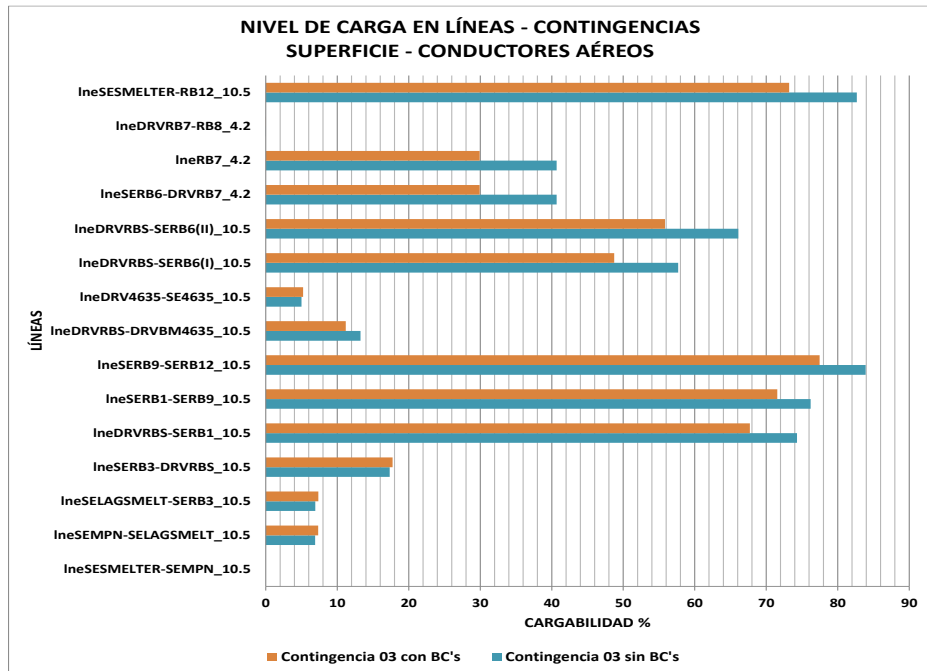


Figura 49. Niveles de Carga de Líneas en Contingencia – Superficie
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

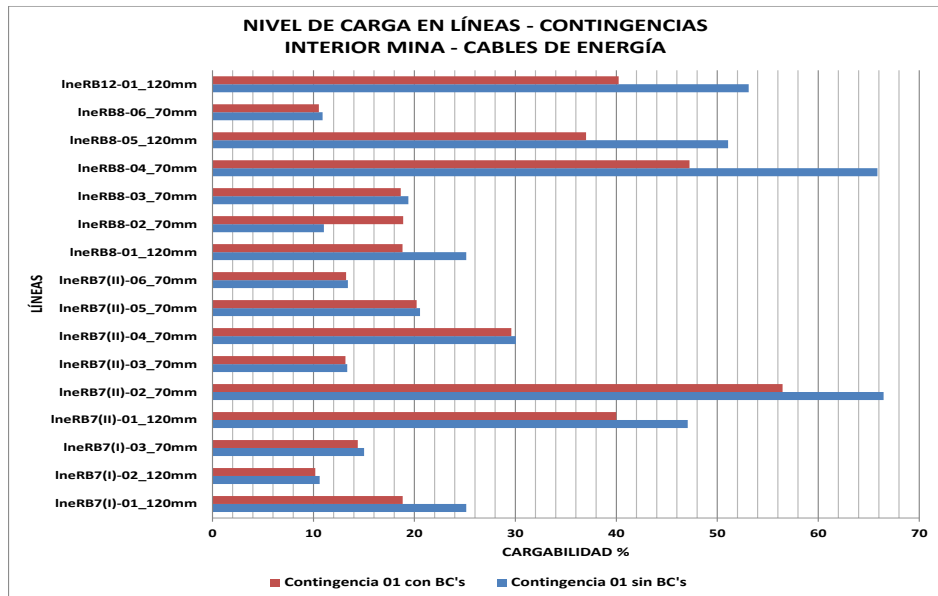


Figura 50. Niveles de Carga de Líneas en Contingencia – Interior Mina
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

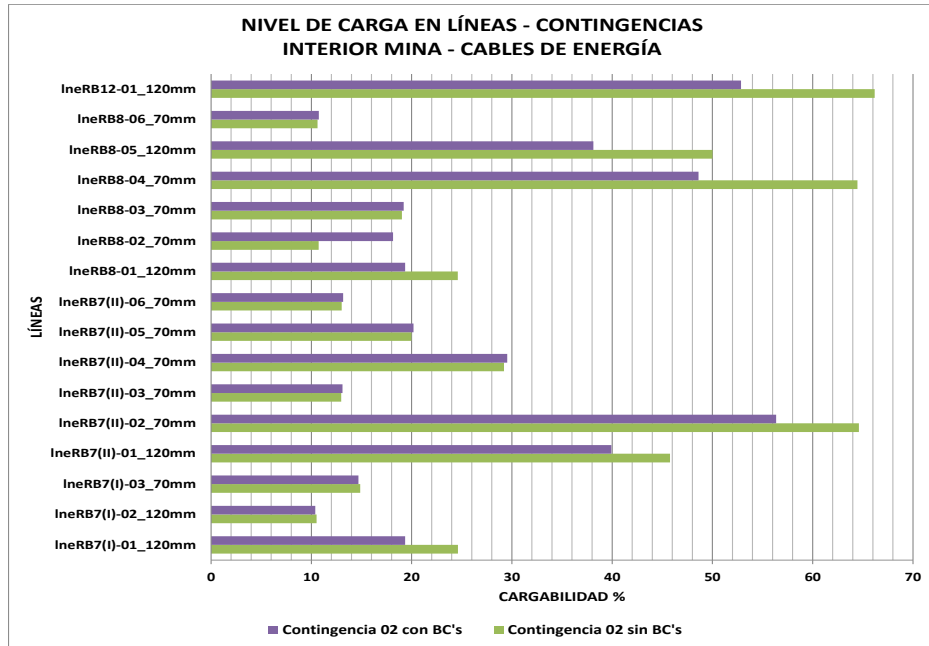


Figura 51. Niveles de Carga de Líneas en Contingencia – Interior Mina
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

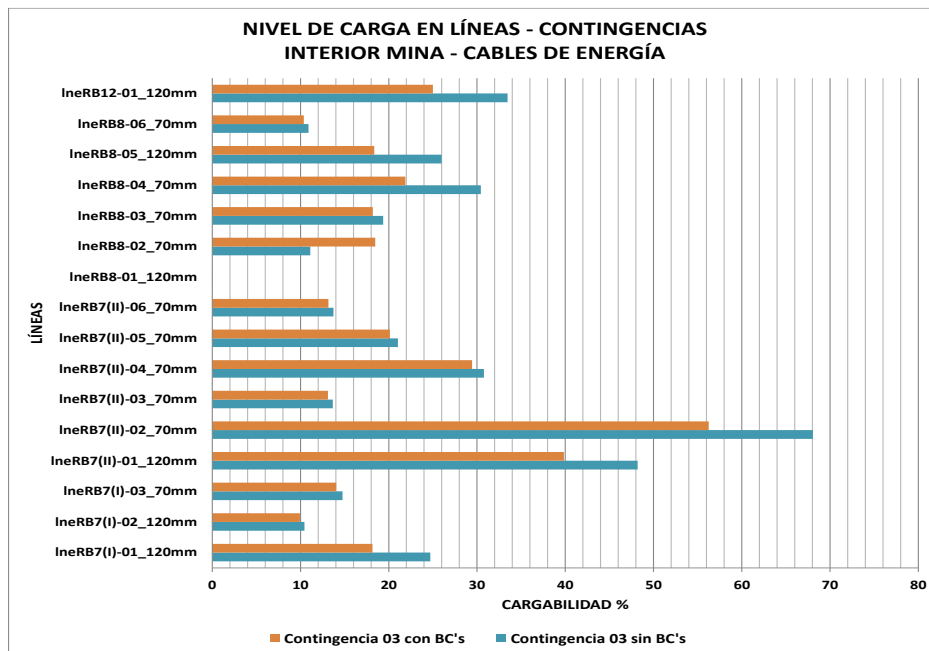


Figura 52. Niveles de Carga de Líneas en Contingencia – Interior Mina
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Tal como se muestra en la Tabla 31, podemos observar que los niveles de cargabilidad de las diferentes líneas distribución y cables de energía se encuentran por debajo del límite permisible que es 120%, el valor más alto corresponde a la línea IneSESMELTER-SEMPN_10.5 registra

97% en la Contingencia 01; la Contingencia 01 en la que se presentan los mayores valores de cargabilidad; pero con la implementación de los Bancos de Capacitores estos valores se reducen llegando a ser menores a la capacidad nominal de cada uno. De manera similar ocurre en la demás contingencia con respecto a la implementación de los Bancos de Capacitores.

C. Resultados de los transformadores de potencia.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de cargabilidad de los transformadores de potencia, para los escenarios de contingencia considerados.

Tabla 33.
Cargabilidad de Transformadores en Contingencias

TRANSFORMADOR (Código ETAP)	CUADRO DE CARGABILIDAD DE TRANSFORMADORES					
	CONTINGENCIA 01		CONTINGENCIA 02		CONTINGENCIA 03	
	Máxima Demanda		Máxima Demanda		Máxima Demanda	
	Sin BC's	Con BC'S	Sin BC's	Con BC'S	Sin BC's	Con BC'S
	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %	Nivel de Carga %
SUPERFICIE						
tr_SMELTER	101	89	97	89	99	88
tr_SE_MPN	55	29	59	58	51	58
tr_SE_RB1(I)	32	33	66	59	56	63
tr_SE_RB1(II)	4	4	4	4	4	4
tr_SE_RB3	22	22	22	22	21	22
tr_SE_RB6(1)	-	-	-	-	34	26
tr_SE_RB6(2)	66	57	67	57	65	57
tr_SE_RB6(3)	51	55	56	56	50	56
tr_SE_RB9(I)	69	69	70	69	69	69
tr_SE_RB9(II)	4	4	4	4	4	4
tr_SE_RB12	97	74	97	74	59	46
MINA						
tr_SE_312	63	46	63	46	63	48
tr_SE_1090-2	46	46	47	46	46	47
tr_SE_9775SUP	70	52	71	52	69	52
tr_SE_TDF9775-1	41	41	41	41	40	41
tr_SE_1195INF	29	29	29	29	28	29
tr_SE_TDF9340W	22	22	22	22	21	22
tr_SE_9340INF	40	41	41	41	40	41
tr_SE_RP1345	34	63	34	58	34	63
tr_SE_8948INT	57	58	58	57	57	58
tr_SE_1091	20	20	20	20	20	20
tr_SE_RP1091	24	24	24	24	24	24
tr_SE_1091(-)	33	33	33	33	33	33

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

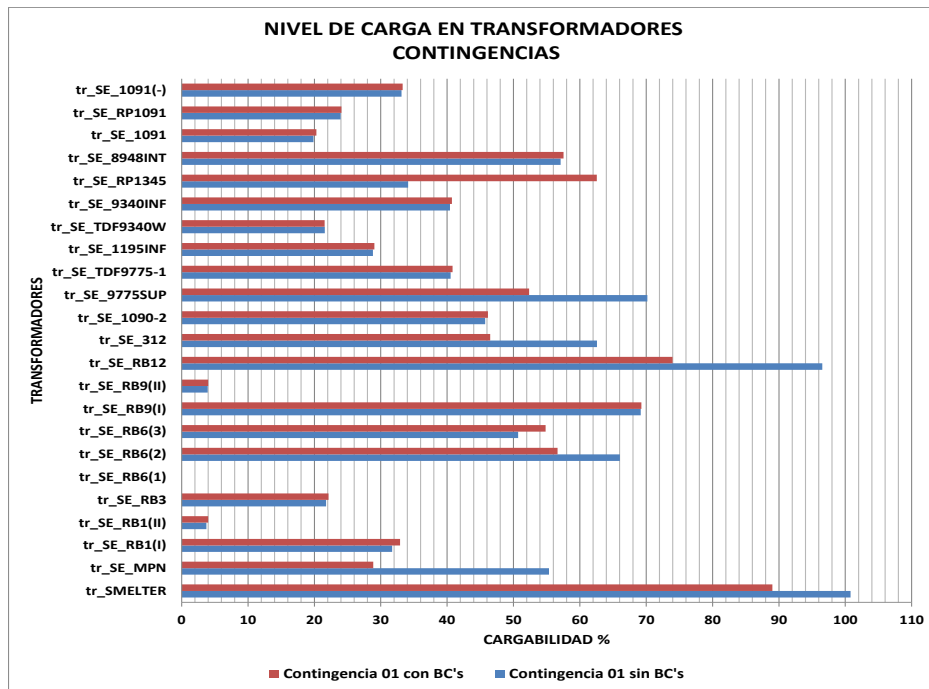


Figura 53. Cargabilidad de Transformadores en Contingencias
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

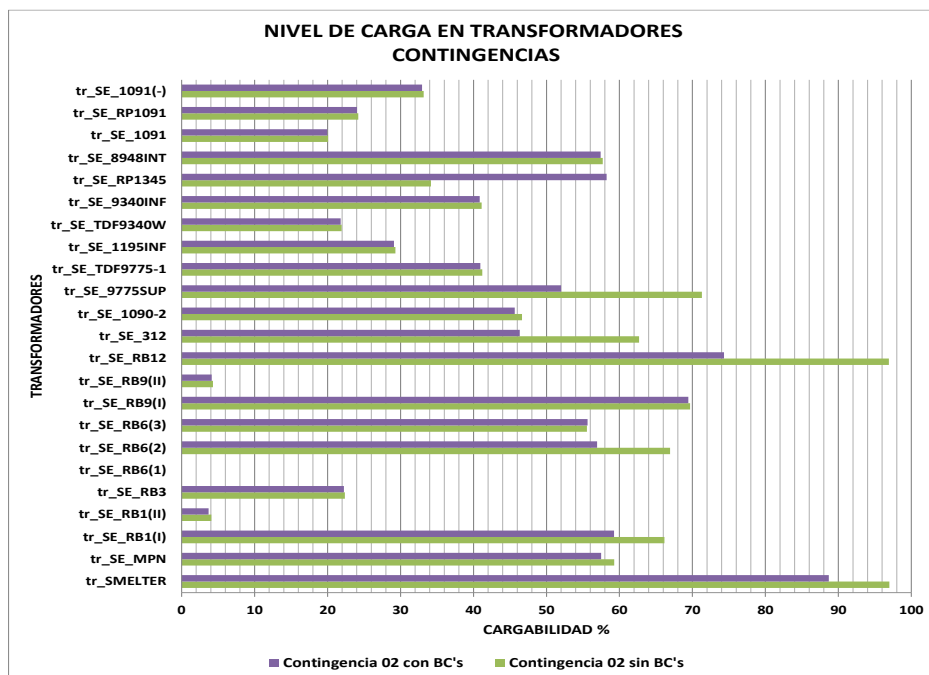


Figura 54. Cargabilidad de Transformadores en Contingencias
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

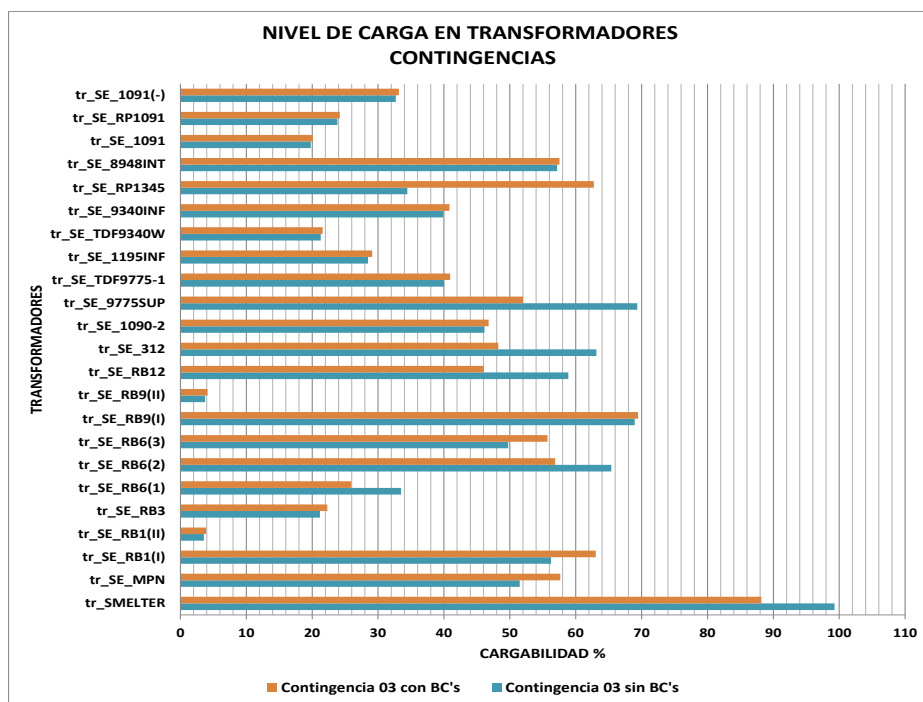


Figura 55: Cargabilidad de Transformadores en Contingencias
Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Tal como se muestra en la Tabla 33, observamos que los niveles de cargabilidad de los transformadores, se encuentran por debajo de los niveles de límites de operación en contingencia (120%). El valor más alto registrado corresponde a los transformadores tr_SMELTER con 101% se suscita en la Contingencia 01. Al igual que para el caso de las líneas la implementación de los Bancos de Capacitores reduce la cargabilidad de la S.E. Smelter 4/5 MVA.

4.6. Propuesta de mejoramiento del sistema eléctrico el brocal

En este acápite se plantea la solución para el mejoramiento del sistema eléctrico Mina EL BROCAL considerando reforzamiento, nuevas líneas de distribución y ampliación de capacidad de transformación, a fin de garantizar la confiabilidad, continuidad y seguridad del servicio eléctrico.

4.6.1. Alcances

Como resultado del análisis del sistema eléctrico EL BROCAL se han considerado el sistema eléctrico Mina Superficie e Interior.

- Sistema Eléctrico Mina Marcapunta Norte en 10.5 kV.
- Sistema Eléctrico Mina Marcapunta Norte en 4.16 Kv

4.6.2. Reforzamiento e implementación

Para la mejora del sistema eléctrico mina en niveles de tensión cargabilidad de líneas de distribución y transformadores se han considerado las siguientes Etapas:

En la primera etapa de reforzamiento del Sistema Eléctrico Mina se debe implementar o cambiar lo siguiente:

- Cambiar sección de conductor de troncal de la línea de distribución con 95 mm² y 70 mm².
- Instalar un transformador de potencia de 2.0 MVA o más en la S.E. RB-12, más tendido cable de energía hasta S.E. RP1091 con celdas de distribución en 4.2 kV. (Ver tabla 14)
- Implementar 04 bancos de condensadores BT de 300 kVAr en 04 subestaciones para reducir la cargabilidad de transformador S.E. Smelter y líneas de distribución en 10.5 kV.

Tabla 34.
Bancos de Condensadores a Implementar

BANCO DE CAPACITORES ADICIONADOS			
BANCO DE CONDENSADORES (Código ETAP)	POTENCIA	TENSIÓN NOMINAL	UBICACIÓN
	KVAR	(kV)	
ADICIONALES			
bc_RB7(I)	300	0.46	SE 312
bc_RB7(II)	300	0.46	SE 9775SUP
bc_RB8	300	0.46	SE RP1345
bc_BOCAMINA4635	500	0.46	SE BOCAMINA4635

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

A. En la segunda etapa de operación del Sistema Eléctrico Mina en Anillo, se debe implementar lo siguiente:

- Implementación de una nueva línea distribución 10.5 kV desde la S.E. Smelter de una longitud aprox. 2.0 km, con conductor de 95 mm² esta se puede conectar a la Bahía 10.5 kV Huachocacca existente. (Ver tabla 14)

B. En la tercera etapa de operación del Sistema Eléctrico Mina por desarrollo de labores (Tajeos), se debe implementar lo siguiente:

- Cambio de transformador de potencia de 4/5 MVA, 48/10.5 kV por otro de 8/10 MVA, 48/10.5 kV, conexión Dyn5 de la S.E. Smelter o implementación de transformador en paralelo de características similares al existente.

4.6.3. Presupuesto referencial

Los precios considerados fueron tomados de cotizaciones de estudios similares realizados

A. Primera etapa

Tabla 35.
Presupuesto Referencial I Etapa

ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL	
		US \$	
I	COSTOS DIRECTOS		251,665.60
1.1	SUMINISTRO DE EQUIPOS Y MATERIALES PRESUPUESTO		227,492.15
1.2	MONTAJE ELECTROMECHANICO PRESUPUESTO		5,974.08
1.3	TRANSPORTE DE EQUIPOS Y MATERIALES DE ALMACENES DE LIMA A ALMACENES DE OBRA		18,199.37
II	COSTOS INDIRECTOS		46,021.87
2.1	GASTOS GENERALES		15,822.00
2.2	UTILIDADES (12% DE I)	12.00%	30,199.87
TOTAL SIN I.G.V. (I+II)			297,687.47

Suministro Relevante:

ITEM	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	P.U. \$ D.A.	TOTAL \$ D.A.
A	SUMINISTRO DE MATERIALES Y EQUIPOS				
1.00	CONDUCTOR DE COBRE				
1.01	CONDUCTOR DE ALEACION ALUMINIO AAAC	m	3600	1.4	5,040.0
1.02	CABLE UNIPOLAR N2XS1 1x95 mm ² , 8/15 KV	m	350	13.1	4,585.0
4.00	TRANSFORMADOR DE POTENCIA y BANCO CONDENSADORES				
4.01	TRANSFORMADOR DE 2MVA + CELDA PROTECCION	U	1	55,000.0	55,000.0
4.02	CELDA DE PROTECCION PARA DISTRIBUCION	U	4	25,200.0	100,800.0
4.03	BANCO DE CONDENSADORES 300 KVAR, REGULACION AUTOMATICA	U	4	15,400.0	61,600.0

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

De tomar acción, El Brocal tendrá que hacer una inversión de casi 300 mil dólares a fin de poder comprar los implementos y equipos requeridos en cada una de las partes de la primera etapa del proceso de implementación y reforzamiento propuesto. Así para esta primera etapa se harían necesarios cerca de 4 km de conductores de cobre y un total de 9 transformadores de potencia, además de banco de condensadores con las especificaciones ya establecidas previamente.

B. Segunda etapa

Tabla 36.

Presupuesto Referencial II Etapa

ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL
		US \$
I	COSTOS DIRECTOS	49,155.37
1.1	SUMINISTRO DE EQUIPOS Y MATERIALES PRESUPUESTO	26,175.31
1.2	MONTAJE ELECTROMECHANICO PRESUPUESTO	17,745.00
1.3	TRANSPORTE DE EQUIPOS Y MATERIALES DE ALMACENES DE LIMA A ALMACENES DE OBRA	5,235.06
II	COSTOS INDIRECTOS	33,204.64
2.1	GASTOS GENERALES	27,306.00
2.2	UTILIDADES (12% DE I)	5,898.64
TOTAL SIN I.G.V. (I+II)		82,360.01

Suministro Relevante:

A	SUMINISTRO DE MATERIALES Y EQUIPOS				
1.00	POSTES Y CRUCETAS DE MADERA				
1.01	POSTES DE CONCRETO ARMADO CENTRIFUGADO (CAC)	U	18	564.3	10,157.1
1.02	CRUCETAS C.A.V. SIM. Za/220/0.90/250-265 MMD	U	36	46.4	1,671.4
2.00	CONDUCTORES Y CABLES DE ENERGIA				
2.01	CONDUCTOR DE COBRE TEMPLE BLANDO, DE 35 mm ² . PARA PUESTA A TIERRA	m	300	3.0	892.5
2.02	CONDUCTOR DE ALEACION ALUMINIO AAAC 95 mm ²	m	6000	1.4	8,400.0
2.03	CABLE NZXSY 1x95 mm ² 8,7/15 KV.	m	120	13.2	1,584.0
2.04	CABLE DE ACERO GALVANIZADO PARA RETENIDA DE 3/8" (9.52 MM) Ø	m	180	3.3	594.0
2.05	ALAMBRE DE ALUMINIO PARA AMARRE 16 MM ²	m	108	1.0	105.8

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

El Brocal, en la segunda etapa, tendrá que hacer una inversión de poco más de 80 mil dólares a fin de poder comprar los postes y crucetas de madera requeridos y un total de 7 km de conductores de energía diversos con las especificaciones ya establecidas previamente.

C. Tercera etapa

Tabla 37.
Presupuesto Referencial III Etapa

ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL	
		US \$	
I	COSTOS DIRECTOS	395,806.93	
1.1	SUMINISTRO DE EQUIPOS Y MATERIALES PRESUPUESTO	350,200.86	
1.2	MONTAJE ELECTROMECHANICO PRESUPUESTO	17,590.00	
1.3	TRANSPORTE DE EQUIPOS Y MATERIALES DE ALMACENES DE LIMA A ALMACENES DE OBRA	28,016.07	
II	COSTOS INDIRECTOS	95,858.83	
2.1	GASTOS GENERALES	48,362.00	
2.2	UTILIDADES (12% DE I)	12.00%	47,496.83
TOTAL SIN I.G.V. (I+II)		491,665.76	

Suministro Relevante:

ITEM	DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	P.U. \$ D.A.	TOTAL \$ D.A.
A	SUMINISTRO DE MATERIALES Y EQUIPOS				
4.00	TRANSFORMADOR DE POTENCIA				
4.01	TRANSFORMADOR DE 8/10 MVA. 48/10.5 kV. Dyn	U	1	314,496.86	314,496.9
4.02	CELDAS DE PROTECCION PARA BARRA 10.5KV	U	1	34,000.00	34,000.0

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Finalmente, El Brocal, en la tercera etapa, tendrá que comprar transformadores de potencia con la respectiva instalación realizando una inversión de 491,665.76 mil dólares a fin de proporcionar la energía necesaria para la producción requerida

D. Calculo del TIR y VAN del análisis de costos de Brocal

Las bases para poder determinar los costos de la ampliación de producción de sociedad minera el brocal, responden a las necesidades de cada empresa, es decir a las estrategias, planeamientos, métodos de explotación, mantenimiento de equipos y otros, para el logro de los objetivos organizacionales, la inversión del área de mantenimiento mina representa el 10% de la los requerimientos para la ampliación, el área de mantenimiento

mina, maneja un costos de capital(CAPEX) 2,000.000 millones dólares anuales y costos de producción (OPEX) de 120,000 mil dólares, de los cuales 560,000 mil dólares anuales pueden ser aprovechados para el proyecto.

Tabla 52.
Costos de la producción minera

Costos de Producción por Unidad Minera = Costo de extracción del mineral + Costos de planta concentradora + Costo total de energía + Costo de unidades de servicio
Costo Total de la Empresa Minera = Costos de producción de la unidad minera + Gastos de administración + Gastos de ventas + Gastos Financieros
Costos de Extracción del Mineral = Costos de exploración + Costos de preparación + Costos de explotación + Costos de obtención de minerales + Mantenimiento de mina + Costos de servicios auxiliares a la producción + Depreciación de la mina
Costos de Planta Concentradora = Costo de operación de la planta concentradora + Costo de mantenimiento de la planta + Costo de administración de la planta + Depreciación de la planta

Fuente: Minera el Brocal S.A.A

Se presenta flujos de efectivo futuros muy elevados y llamativos, dando así un VAN de 12'348,620 una cantidad sumamente significativa en base a la cual la decisión sería aceptar el proyecto; así mismo se muestra una TIR del 19.85% por lo que se puede asegurar que este proyecto es muy viable y rentable.

Tabla 53.
Calculo del TIR y VAN del análisis de costos de Brocal

1 Datos para el análisis						
Inversión	importe	100,000				
Flujo de caja (neto anual)	inversión	-100,000				
		1	2	3	4	5
		27,680	28,970	31,200	42,100	45,000

2 Cálculo del V.A.N. y la T.I.R.	
Tasa de descuento	% 15.20%
V.A.N a cinco años	12,348.62
T.I.R a cinco años	19.85%

Valor positivo, inversión (en principio) factible
 Valor superior a la tasa, inversión (en principio) factible

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

Tabla 54.
Análisis FODA de la ampliación de producción en mina Brocal

FODA DE LA AMPLIACIÓN DE PRODUCCIÓN BROCAL	
<p>FORTALEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> -Alto retorno sobre la inversión. -Ser pioneros en la explotación minera en la Concesión. -Estudios exploratorios ya realizados en la zona. -Dar prioridad a la seguridad de los trabajadores teniendo una tasa baja de accidentes laborales. 	<p>OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> -Exploración de nuevos yacimientos. -Aceptación de la planta por parte del sector gubernamental. -Precios ascendentes del Cobre.
<p>DEBILIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> -Dependencia del mercado Mundial. -Variabilidad en el nivel de precios. -Roca demasiado dura por lo que los gastos pueden elevarse. 	<p>AMENAZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> -Mayor riesgo político-social del sector minero. -Potenciales conflictos con comunidades aledañas.

Fuente: Minera el Brocal S.A.A.

4.7. Discusión de resultados

La presente investigación ha tenido como principal objetivo el demostrar que una modificación de los sistemas en términos de la ampliación de nuevas cargas de la

mina Marcapunta Norte exterior 10 kV y mina subterránea 4.16 Kv, han sido beneficiosas sobre el desempeño del sistema eléctrico de la empresa en estudio. A ello se puede encontrar que los resultados de la investigación corroboran esto, para que el sistema opera sin problemas debería de mantenerse dentro de los valores nominales de tensión para un correcta operación de los tablero de compensación, que estos reducen la energía reactiva inductiva con lo cual los transformadores y la líneas de media tensión reducen su carga, tal como lo explica Glover [1] , pues para los casos Sistema Reforzado y Sistema en Anillo en términos de las barras analizadas, los valores de tensión en p.u. se encuentran dentro de los niveles permisibles contemplados en la NTCSE. Asimismo, para el Sistema en Anillo, tanto con y sin Banco de Capacitores, los perfiles de tensión son mayores con relación al Sistema Reforzado (Ver tabla 25). También, los niveles de carga de algunos conductores aéreos se encuentran por encima de su capacidad nominal en el caso de situación actual, siendo la línea lne_SESMELTER-SEMPN_10.5 la de mayor porcentaje de cargabilidad con un 135%; sin embargo, para el Sistema Reforzado aun habiendo incrementado el calibre de algunos tramos, la línea en mención registra un valor de cargabilidad de 100% sin banco de capacitores y con la implementación de banco de capacitores su valor es de 86%, de esta manera se ve el efecto de la compensación en la cargabilidad de las líneas (Ver tabla 26)

Los niveles de cargabilidad de los transformadores de potencia para el caso Situación Actual se encuentran por debajo de su valor nominal, excepto el transformador tr_SMELTER que es el que alimenta a todo el Sistema Eléctrico Mina Marcapunta Norte, se encuentran con un 6% por encima de su valor nominal. Para los casos Sistema Reforzado y Sistema en Anillo la tendencia es la misma; sin embargo, con la implementación de los Bancos de Capacitores se reduce el porcentaje de

cargabilidad de este transformador de 104%, para ambos casos a 90% y 89% respectivamente, además se observa que los valores de corriente de falla máxima en los tres escenarios simulados no sufren variaciones significativas, uno de los mayores aumentos se produce en la barra SE_RP1091_0.46 que de 17.6 kA en Situación Actual se incrementa hasta 19.1 kA y 19.4 kA para el Sistema Reforzado y Sistema en Anillo respectivamente. (Tabla 28, Figuras 41 y 42)

Los resultados además son coherentes con lo planteado por la literatura revisada, pues la potencia aparente de cortocircuito [3] de la red en el lugar de la instalación del transformador debería ser especificada por el comprador en su petición de oferta, con objeto de obtener el valor de la corriente de cortocircuito simétrica a ser utilizada para el diseño y los ensayos y debe de estar acompañada de una serie de cálculos tal como lo explica KINDERMANN [4]. Por lo que esta investigación colabora y aporta a la actual literatura sobre el tema.

CONCLUSIONES

1. Con la ejecución de las propuestas establecidas en los escenarios descritos, se ha encontrado que estos mejoran la condición del sistema eléctrico de la empresa minera en estudio, por lo que se puede establecer que hay una influencia positiva de 2.5% del voltaje en línea de media tensión (4.16 kV) entre reforzamiento y cambio de configuración del sistema eléctrico en las cargas de la operación del sistema eléctrico de distribución y la ampliación de operaciones de las nuevas minas Marcapunta Norte exterior 10 kV y subterránea 4.16 kV.
2. La variación de los parámetros del análisis de flujos de potencia ha sido modificados según se tenía detallado por las propuestas que se han tenido, en este sentido por parte de los perfiles de tensión se puede establecer que los niveles de cargabilidad de los transformadores de potencia para el caso Situación Actual se encuentran por debajo de su valor nominal, menor de 100%, excepto el transformador tr_SMELTER que es el que alimenta a todo el Sistema Eléctrico Mina Marcapunta Norte, se encuentran con un 6% por encima de su valor nominal. Para los casos Sistema Reforzado y Sistema en Anillo la tendencia es la misma; sin embargo, con la implementación de los Bancos de Capacitores se reduce el porcentaje de cargabilidad de este transformador de 104%, para ambos casos a 90% y 89% respectivamente, entendiéndose que la implementación y el reforzamiento ha conducido claramente a una mejora en el Sistema eléctrico estudiado.
3. Acerca del análisis del corto circuito debido al aumento de carga en el sistema eléctrico, los mayores aumentos se producen en la barra SE_RP1091_0.46 que de 17.6 kA en Situación Actual se incrementa hasta 19.1 kA y 19.4 kA para el Sistema Reforzado y Sistema en anillo respectivamente. Por lo que se puede asumir que hay una mejora sustancial de las capacidades del análisis de corto circuito.

RECOMENDACIONES

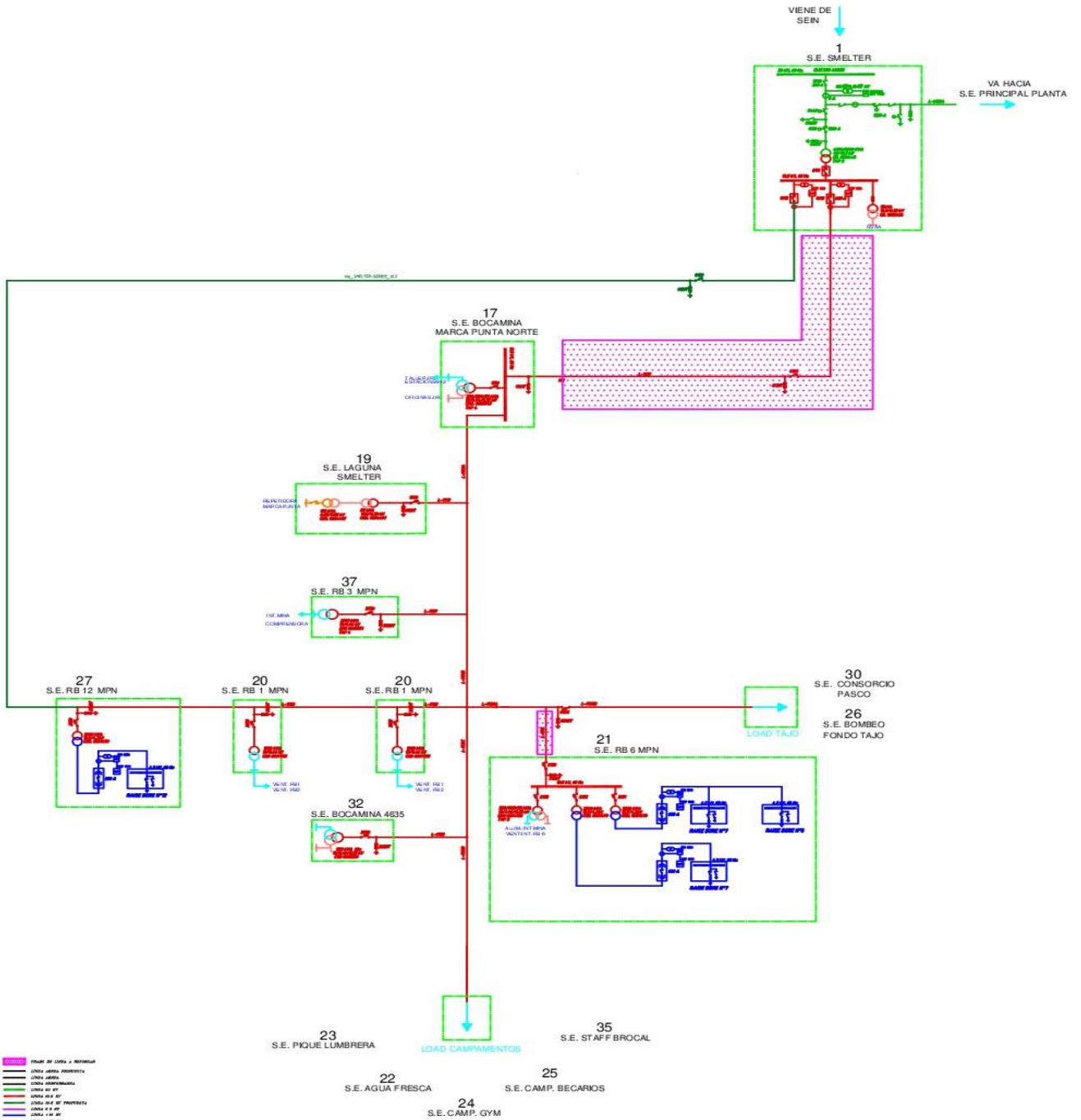
1. Realizar un proceso de implementación de las oportunidades de mejora descritas en la presente tesis, dicha implementación debe ser adecuadamente estructurada en torno a los siguientes aspectos, la implementación debe incluir sub etapas de diseño, montaje y verificación, de tal forma que se defina el esquema óptimo de instalación, se ejecuten adecuadamente los montajes y finalmente se evidencie la ejecución de la acción de mejora, documentando adecuadamente el proceso. En el sistema eléctrico actual de Mina los niveles de tensión, cargabilidad de líneas de distribución y transformador 4/5 MVA, 48/10.5 kV S.E. Smelter se encuentra fuera de los límites de la norma, en la primera etapa de reforzamiento del Sistema Eléctrico Mina se debe implementar o cambiar lo siguiente:
 - i. Cambiar sección de conductor de troncal de la línea de distribución con 95 mm² y 70 mm².
 - ii. Instalar un transformador de potencia de 2.0 MVA a más en la S.E. RB-12, más tendido cable de energía hasta S.E. 1091 con celdas de distribución en 4.2 kV.
 - iii. Implementar 04 bancos de condensadores BT de 300 kVAr en 04 subestaciones para reducir la cargabilidad de transformador S.E. Smelter y líneas de distribución en 10.5 kV.
2. En la segunda etapa de operación del Sistema Eléctrico Mina en Anillo, se debe implementar lo siguiente:
 - i. Implementación de una nueva línea distribución 10.5 kV desde la S.E. Smelter de una longitud aprox. 2.0 km con conductor de 95 mm² esta se puede conectar a la Bahía 10.5 kV Huachocacca existente.

3. En la tercera etapa de operación del Sistema Eléctrico Mina por desarrollo de labores (Tajeos), se debe implementar lo siguiente:
 - i. Cambio de transformador de potencia de 4/5 MVA, 48/10.5 kV por otro de 8/10 MVA, 48/10.5 kV, conexionado Dyn5 de la S.E. Smelter o implementación de transformador en paralelo de características similares al existente.
 - ii. En caso de instalar otro transformador de diferentes características al existente, para aliviar carga al alimentador de la Mina Marcapunta en 10.5 kV no van a poder operar en anillo.
4. Es necesario la Implementación de un sistema de aterramiento en BT de los transformadores de Mina con una resistencia de 100 Ohms para reducir la corriente de falla a tierra y tensiones de paso y toque.
5. Los valores de corrientes de cortocircuito tanto trifásico, monofásico y bifásico a tierra de los escenarios propuestos no sufren variaciones significativas respecto a los valores de situación actual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Glover, J. D., & Sarma, M. S. (2003). *Sistemas de potencia: Análisis y Diseño* (Tercera Edición). Thomson.
- [2] Grainger, J. J., & Stevenson Jr, W. D. (1996). *Análisis de sistemas de potencia*. México: McGraw-Hill.
- [3] IEC 60076-5. (2000). Transformadores de Potencia: Aptitud para soportar Cortocircuitos. Standards Project Editor.
- [4] Kindermann, G. (1997). *Curto circuito*. Porto Alegre (RS): Sagra-DC Luzzatto.
- [5] Gómez, E. A. (2002). *Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica* (Primera Edición). España: McGraw-Hill.
- [6] COES SINAC. (2013). Procedimiento Técnico del Comité de Operación Económica del SEIN Ingreso, Modificación y Retiro de Instalaciones en el SEIN (PR-20). Recuperado a partir de <http://contenido.coes.org.pe/alfrescoco.es/download.do?nodeId=7f38124b-567e-4856-a709-294fef1a744c>.
- [7] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.
- [8] IEC 60909. (2001). Corrientes de Cortocircuito en Sistemas Trifásicos de Corriente Alterna. Standards Project Editor.
- [9] Kothari, D.P, & Nagrath, I.J. (2008). *Sistemas Eléctricos de Potencia* (Tercera Edición). México: McGraw-Hill Interamericana.
- [10] Osinergmin. (s. f.). NTCSE. Recuperado 5 de enero de 2017, a partir de <http://www.osinergmin.gob.pe/empresas/electricidad/calidad/NTCSE>
- [11] CAMPBELL, Donald; STANLEY, Julian. Diseños experimentales y cuasiexperimentales en ciencias sociales. Buenos Aires: Amorrortu, 1995, p. 1-30.

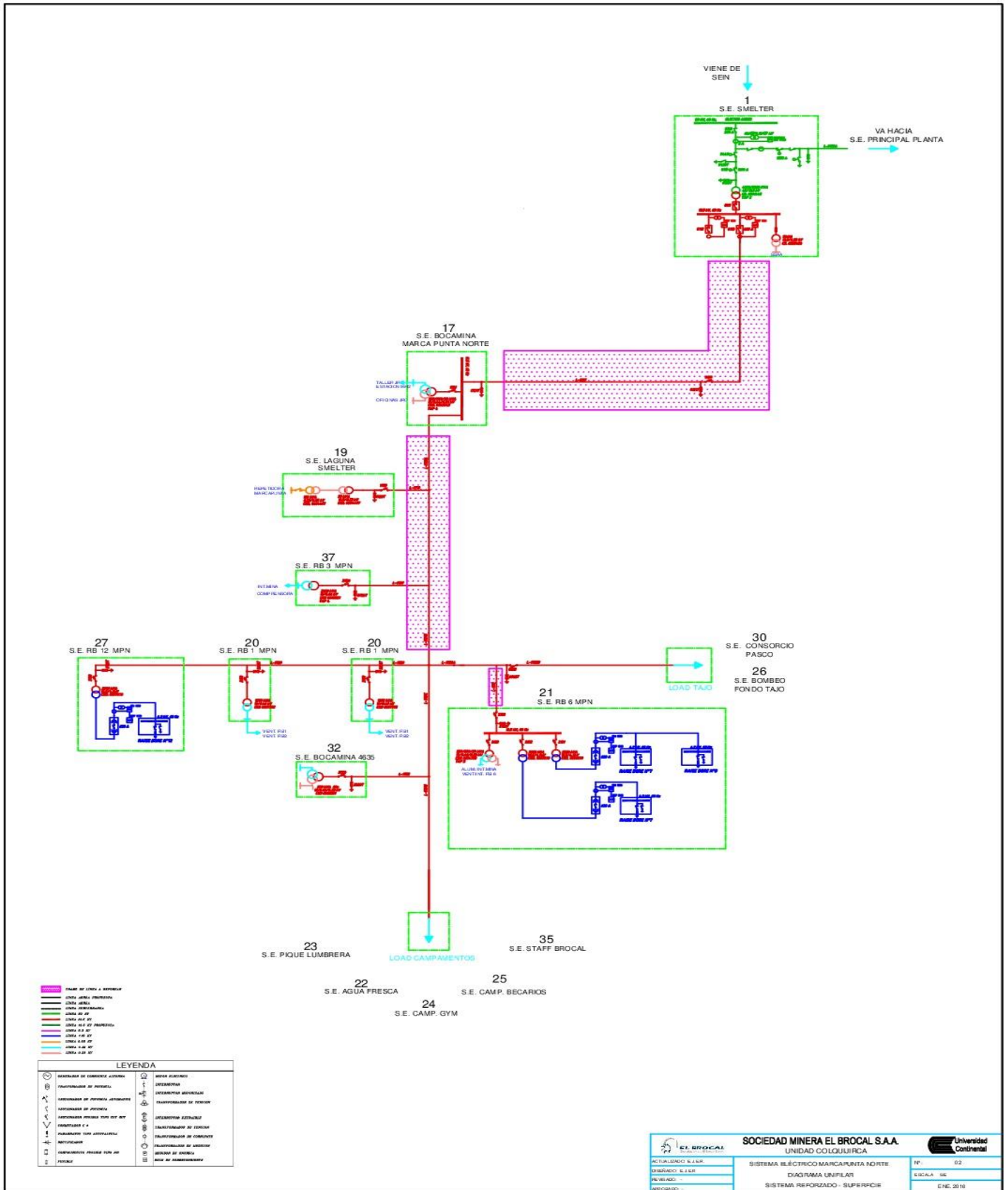
ANEXOS

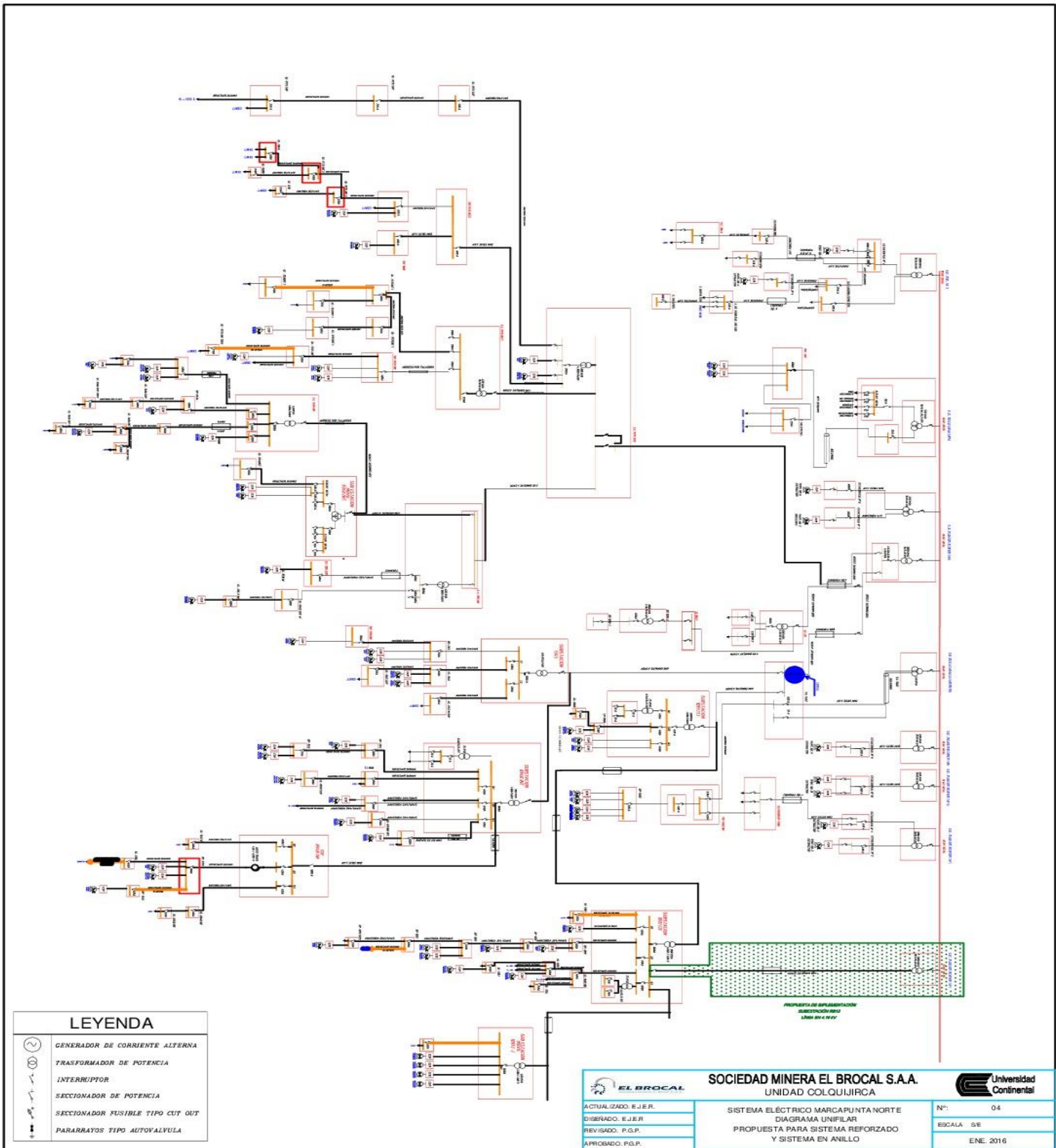


LEYENDA

	INTERRUPTOR DE CIRCUITO PRIMARIO		INTERRUPTOR DE CIRCUITO SECUNDARIO
	FUSIBLE DE CIRCUITO PRIMARIO		FUSIBLE DE CIRCUITO SECUNDARIO
	TRANSFORMADOR DE POTENCIA PRIMARIO		TRANSFORMADOR DE POTENCIA SECUNDARIO
	BANCA DE CONDENSADORES DE POTENCIA PRIMARIO		BANCA DE CONDENSADORES DE POTENCIA SECUNDARIO
	REACTOR DE POTENCIA PRIMARIO		REACTOR DE POTENCIA SECUNDARIO
	BARRIL DE POTENCIA PRIMARIO		BARRIL DE POTENCIA SECUNDARIO
	ARMARIO DE POTENCIA PRIMARIO		ARMARIO DE POTENCIA SECUNDARIO
	CABLE DE POTENCIA PRIMARIO		CABLE DE POTENCIA SECUNDARIO
	CARGA DE POTENCIA PRIMARIO		CARGA DE POTENCIA SECUNDARIO
	GENERADOR DE POTENCIA PRIMARIO		GENERADOR DE POTENCIA SECUNDARIO
	MOTOR DE POTENCIA PRIMARIO		MOTOR DE POTENCIA SECUNDARIO
	BANCA DE CONDENSADORES DE POTENCIA PRIMARIO		BANCA DE CONDENSADORES DE POTENCIA SECUNDARIO
	REACTOR DE POTENCIA PRIMARIO		REACTOR DE POTENCIA SECUNDARIO
	BARRIL DE POTENCIA PRIMARIO		BARRIL DE POTENCIA SECUNDARIO
	ARMARIO DE POTENCIA PRIMARIO		ARMARIO DE POTENCIA SECUNDARIO
	CABLE DE POTENCIA PRIMARIO		CABLE DE POTENCIA SECUNDARIO
	CARGA DE POTENCIA PRIMARIO		CARGA DE POTENCIA SECUNDARIO
	GENERADOR DE POTENCIA PRIMARIO		GENERADOR DE POTENCIA SECUNDARIO
	MOTOR DE POTENCIA PRIMARIO		MOTOR DE POTENCIA SECUNDARIO

 SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A. UNIDAD COLQUIRCA	SISTEMA ELÉCTRICO MARCAPUNTA NORTE DIAGRAMA UNIFLAR SISTEMA EN ANILLO - SUPERFICIE	N°: 02 ESCALA: 50% ENE. 2016	
	ACTUACIÓN: S.E. A.S. REVISADO: S.E. A.S. APROBADO: S.E. A.S. PROYECTADO: S.E. A.S.		

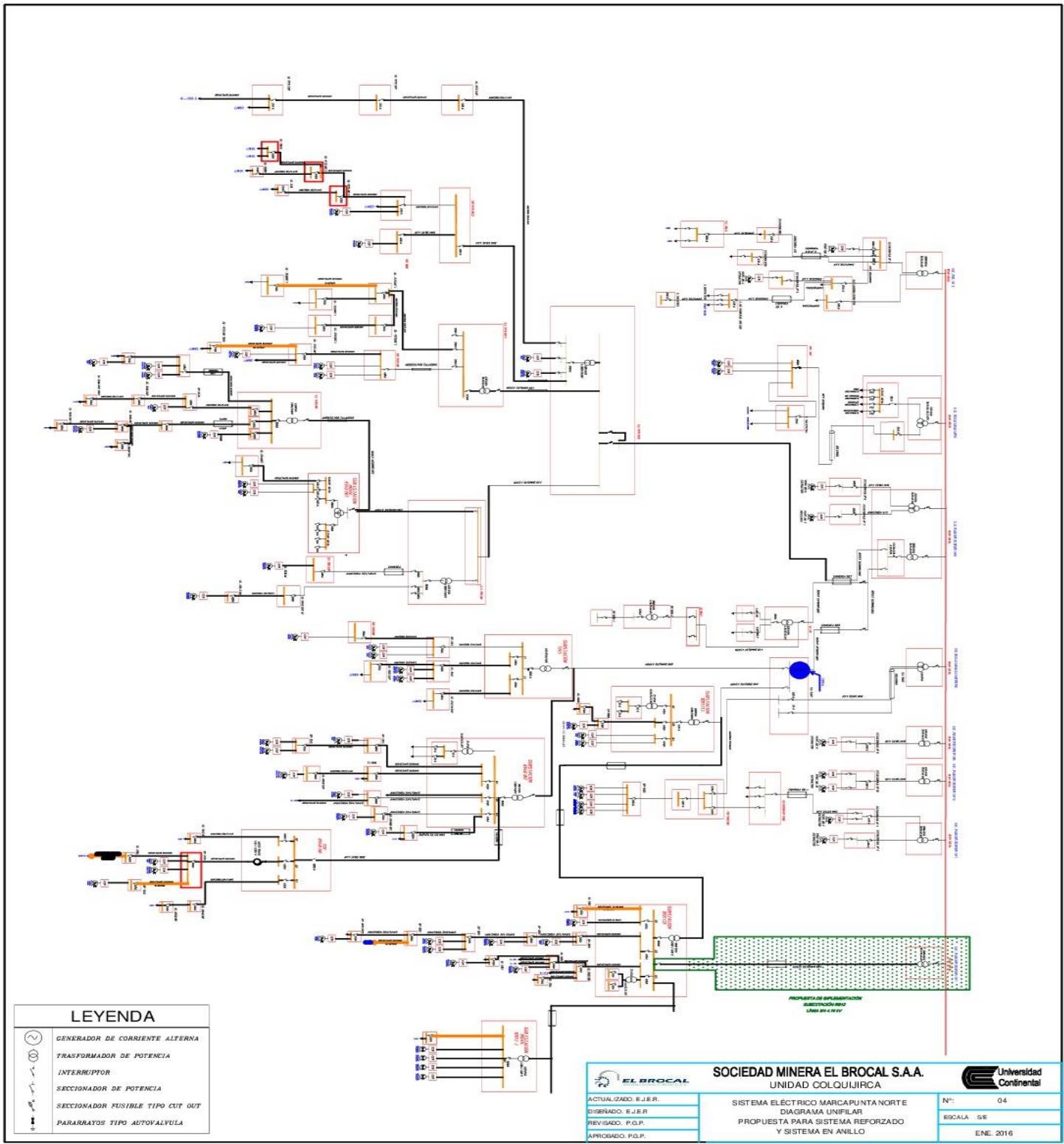




LEYENDA

	GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA
	TRANSFORMADOR DE POTENCIA
	INTERRUPTOR
	SECCIONADOR DE POTENCIA
	SECCIONADOR FUSIBLE TIPO CUT OUT
	PARARRAYOS TIPO AUTOVALVULA

	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A. UNIDAD COLOQUIJIRCA		
	ACTUALIZADO: E.J.E.R. DISEÑADO: E.J.E.R. REVISADO: P.G.P. APROBADO: P.G.P.		N°: 04 ESCALA: 5/E ENE. 2016
	SISTEMA ELÉCTRICO MARCAPUNTA NORTE DIAGRAMA UNIFILAR PROPUESTA PARA SISTEMA REFORZADO Y SISTEMA EN ANILLO		



LEYENDA

- GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA
- TRANSFORMADOR DE POTENCIA
- INTERRUPTOR
- SECCIONADOR DE POTENCIA
- SECCIONADOR FUSIBLE TIPO CUT OUT
- PARARRAYOS TIPO AUTOVALVULA

	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A. UNIDAD COLOQUIJRCA	
ACTUALIZADO: E.J.E.R.	SISTEMA ELÉCTRICO MARCAPUNTA NORTE DIAGRAMA UNIFILAR PROPUESTA PARA SISTEMA REFORZADO Y SISTEMA EN ANILLO	N°: 04
DISEÑADO: E.J.E.R.		ESCALA: 5E
REVISADO: P.G.P.		ENE. 2016
APROBADO: P.G.P.		